HAL
open science

Les nanotechnologies dans l'enseignement secondaire : une recherche sur la compréhension des controverses "nanos" par des lycéens

Bénédicte Hingant

To cite this version:

Bénédicte Hingant. Les nanotechnologies dans l'enseignement secondaire : une recherche sur la compréhension des controverses "nanos" par des lycéens. Education. Université de Grenoble, 2013. Français. NNT : 2013GRENS023 . tel-00949146

HAL Id: tel-00949146

https://theses.hal.science/tel-00949146v1

Submitted on 19 Feb 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de Grenoble

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

Spécialité : **Didactique des sciences**

Arrêté ministériel : 7 Août 2006

Présentée par

Bénédicte Hingant

Thèse dirigée par **Virginie Albe et Joël Chevrier**

préparée au sein **de l'UMR STEF (ENS de Cachan), de l'Institut Néel (Grenoble)**
et de **l'École Doctorale de l'Ingénierie de la Santé, de la Cognition et de l'Environnement (Université de Grenoble)**

Les nanotechnologies dans l'enseignement secondaire :

Une recherche sur la compréhension des controverses "nanos" par des lycéens

Thèse soutenue publiquement le **31 mai 2013**,
devant le jury composé de :

Mme Virginie Albe
Professeure à l'ENS de Cachan, Directrice de thèse
Mr Joël Chevrier
Professeur à l'Université de Grenoble, Directeur de thèse
Mr Jacques Désautels
Professeur émérite à l'Université Laval (Québec), Rapporteur
Mr Brice Laurent
Chargé de recherche à l'École des Mines ParisTech, Examinateur
Mr Philippe Losego
Professeur à la Haute École Pédagogique de Lausanne (Suisse), Examinateur
Mr Jean-Luc Schwartz
Directeur de recherche CNRS à l'Université de Grenoble, Examinateur
Mme Andrée Tiberghien
Directrice de recherche émérite CNRS à l'ENS de Lyon, Rapporteure

Remerciements

Je remercie mes directeurs de thèse de m'avoir aiguillée tout au long de cette aventure. Merci Virginie de m'avoir encadrée. Merci Joël pour toutes les discussions que nous avons eues et les rendez-vous autour d'un thé lors des moments de doute.

Je remercie les membres de mon jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail. Je les remercie aussi pour la discussion qui a eu lieu lors de ma soutenance de thèse.

Je remercie les enseignants avec qui j'ai travaillé sans qui le travail de terrain qui constitue le cœur de cette thèse n'aurait pas été possible. Merci à Bruno Pin du lycée des Eaux Claires à Grenoble, Cédric Marangoni du lycée Bertholet à Annecy. Merci aux enseignants de sciences physiques du lycée Triboulet à Romans-sur-Isère qui m'ont chaleureusement accueillie dans leur équipe, en particulier Alain Thibaud avec qui j'ai travaillé en 2012 et Françoise Goudon avec qui la collaboration a été très agréable et très fructueuse tout au long de l'année scolaire 2012-2013. Merci également à Sylvie Gaubert pour les échanges que nous avons eus.

Merci aussi évidemment à tous les élèves qui ont participé aux activités au centre de cette thèse.

Merci enfin à tous les caméramans d'un jour qui sont venus me prêter main forte pour filmer les séances en classe : Isabel, Nicolas, Lionel et Gilbert.

Je remercie les membres des différents laboratoires avec qui j'ai interagi au cours de ces quatre années de thèse.

Merci aux membres du laboratoire ICA et de l'ACROE qui m'ont accueillie dans leur locaux. Merci à Annie Luciani et Claude Cadoz qui dirigent l'équipe. Merci à Jean-Loup Florens pour toutes les longues discussions que nous avons eues. Merci à Diana qui a été une voisine de bureau inoubliable. Merci à Isabel qui a aussi partagé mon bureau au début de ma thèse. Merci à Kevin, Saman, Geoffrey, Anne-Marie, Ali, Maria, Olivier, Jérôme, Karine, Nicolas Venant et les autres pour les bons moments passés avec eux.

Merci aux membres du laboratoire STEF de l'ENS Cachan avec qui j'ai collaboré de près ou de loin pendant ma thèse. Merci notamment à Cathy pour les longues discussions au téléphone pendant lesquelles nous disséquions articles, séquences d'enseignement, outils d'analyse... Merci à Elie, Abdallah, Stan et aux autres thésards qui participaient aux séminaires doctorants. Merci à Sylvie qui m'accueillait toujours avec le sourire lorsque je passais dans son bureau.

Merci aux membres de l'équipe Champ Proche de l'institut Néel pour leur accueil lorsque j'étais de passage à l'institut Néel. Je garde en particulier un très bon souvenir des sorties d'équipe en Chartreuse comme au Taillefer. Merci aussi à Marielle Lardato qui était toujours souriante et agréable lorsque je venais lui apporter des ordres de mission. Merci à Véronique Fauvel pour son aide précieuse lors de l'organisation de ma soutenance de thèse.

Je remercie les artisans du dispositif Nano@school qui ont accepté que je travaille avec des classes participant à ces ateliers : Ahmad Bsiesy, Francine Papillon, Evelyne Excoffon... Je remercie en particulier Lorraine Chagoya-Garzon pour sa gentillesse et son aide précieuse

lorsqu'il a fallu régler des petits tracas d'organisation, ainsi qu'Alexandre Chagoya pour sa disponibilité lors de la séance de recherche documentaire qui a eu lieu dans les locaux du CIME.

Je remercie mes collègues d'enseignement de l'UE PHY121. Parmi eux, je remercie en particulier Christian, Geoffroy, Hermann et Alain avec qui j'ai travaillé à remodeler les sujets de TP ; Alain qui a aussi été mon tuteur de monitorat avec qui j'adorais venir discuter pour prendre conseil les lundis soirs après mes TP ; Gilbert Vincent, responsable de l'UE qui m'a confié les rênes du dispositif DCS ; Signe qui m'a permis de donner quelques amphis... Je remercie aussi mes étudiants avec qui j'ai passé d'agréables moments dans les habits du prof.

Je remercie enfin tous mes proches sans qui cette thèse n'aurait sans doute pas abouti. Merci à mes parents pour leur soutien indéfectible. Merci à Brigitte, Laurent, Titi et Douid d'avoir toujours été là. Merci Brigitte, d'avoir pris en charge l'épineux problème de l'organisation du pot. Merci à tous mes amis qui m'ont toujours soutenue : Merci Signe, Geoffroy, Ileana, Tchango, Franklin, JP, Anne-Laure, Pono et Camille, Pierre-Yves... Merci à Gilbert, Marylin et Lionel pour les très bons moments passés avec eux. Merci à Olivier pour les années de vie grenobloise que nous avons partagées. Merci enfin à Stan sans qui cette thèse n'aurait sans doute jamais été terminée.

Table des matières

I Introduire les nanotechnologies dans l'enseignement secondaire : quels enjeux et quelles recherches ? 19

1 Contexte général 25

2 L'introduction des nanosciences et des nanotechnologies dans l'enseignement secondaire : État de la recherche en didactique 31

3 Éléments théoriques, enjeu éducatif et problématique 69

4 Analyse des controverses 89

II Travail empirique 147

5 Méthodologie 149

6 Analyse du jeu de rôle mis en place à Romans 185

7 Analyse de la discussion post jeu de rôle et de sa préparation 279

8 Analyse de l'activité de recherche documentaire 335

9 Analyse de la séance de synthèse et de préparation de questions 397

III Discussion 419

10 Discussion générale 421

11 Quelques pistes de recherches pour prolonger la réflexion 445

12 Conclusion générale 449

IV Annexes 465

13 Consignes et documents de l'activité de jeu de rôle 467

14 Documents de l'activité de recherches documentaires 531

15 Consignes et documents distribués aux élèves lors de la dernière séance 625

16 Préparation des interventions des élèves pendant la "conférence" 645

17 Retour sur l'influence de Nano@school 655

18 Analyse de la première mise en œuvre du jeu de rôle à Grenoble 661

19 Analyse des fiches remplies par les élèves après le jeu de rôle (Grenoble) 777

20 Analyse de la discussion qui a suivi le jeu de rôle (Grenoble) 785

Table des matières

I Introduire les nanotechnologies dans l'enseignement secondaire : quels enjeux et quelles recherches ? 19

1 Contexte général 25

1.1 Nanosciences, Nanotechnologies ? 25

1.2 Les nanotechnologies, une "politique scientifique globale" 27

1.3 La recherche en éducation interpelée par l'émergence des nanotechnologies . . 29

2 L'introduction des nanosciences et des nanotechnologies dans l'enseignement secondaire : État de la recherche en didactique 31

2.1 Méthodologie 31
2.1.1 Mots clés 31
2.1.2 Recueil des articles 32
2.1.2.1 Prospection 32
2.1.2.2 Délimitation du corpus 32
2.1.2.3 Deuxième recension d'articles en 2012 33

2.2 Les réflexions en amont du développement de propositions d'enseignement . . 34
2.2.1 Les motifs invoqués pour justifier la mise en place de ces enseignements 34
2.2.2 Big Ideas of Nanoscale Science and Engineering : Une réflexion sur les concepts à enseigner et la progression à suivre tout au long du secondaire 35
2.2.3 Interdisciplinarité et prise en compte des contraintes du système éducatif 37
2.2.4 Discussion 39

2.3 Des travaux sur les concepts pour développer avec plus de pertinence les curricula 39
2.3.1 Taille et échelles (Size and scale) 39
2.3.2 Les propriétés dépendantes de la taille (Size-dependent properties) . . 43
2.3.3 La compréhension de la nature de la matière (Nature of matter) . . . 45
2.3.4 Discussion 46

2.4 Instruments pour l'apprentissage et dispositifs pédagogiques innovants 47
2.4.1 Des instruments pour l'apprentissage : utilisations de microscopes et d'interfaces haptiques pour l'enseignement des nanotechnologies. . . . 47
2.4.1.1 Utilisation d'un AFM couplé à une interface haptique 47
2.4.1.2 Utilisation d'un microscope électronique avec des élèves de Middle School. 50
2.4.2 Une stratégie pédagogique centrée sur l'élève pour enseigner les LED. . 51
2.4.3 Discussion 52

2.5 La formation des enseignants du secondaire sur les nanotechnologies 52
2.5.1 Des difficultés et des pistes pour penser la formation des enseignants sur les nanotechnologies 53
2.5.2 Des expertises de dispositifs de formation des enseignants 54
2.5.3 Des recherches empiriques sur certaines formations d'enseignants . . . 55
2.5.3.1 Utilisation de modèles d'AFM dans le cadre d'une formation pour des enseignants de chimie de lycée 55
2.5.3.2 Une approche "Design-Based" pour développer une formation à destination des enseignants sur les nanotechnologies 55
2.5.4 Discussion 57

2.6 Nanosciences et nanotechnologies en société 58
2.6.1 Pourquoi et comment prendre en compte les questionnements soulevés par les développements des nanotechnologies ?. 59
2.6.2 Une recherche empirique portant sur une mise en débat du transhumanisme 60
2.6.3 Discussion 63

2.7 Vers notre problématique 65

3 Éléments théoriques, enjeu éducatif et problématique 69

3.1 Les nanotechnologies : une question socioscientifique 69
3.1.1 Contexte scientifique de l'étude 69
3.1.2 Recherches sur les questions socioscientifiques : synthèse de deux états de l'art 70
3.1.2.1 Développement d'une compréhension de la nature des sciences 72
3.1.2.2 Développement d'une pensée complexe 73
3.1.2.3 Engagement dans l'action socio-politique et développement de communautés de pratiques. 79
3.1.3 Vers notre problématisation 81

3.2 Ancrages théoriques 82
3.2.1 L'approche des recherches "*design-based*" 82
3.2.2 Un modèle de scolarisation des controverses. 83

3.3 Problématisation 88

4 Analyse des controverses 89

4.1 Pourquoi analyser ces controverses ?. 89

4.2 Méthodologie 90
4.2.1 Recours aux méthodologies développées en sociologie des sciences . . . 90

4.2.2 Délimitation du corpus 93
4.2.3 Quel outil de visualisation ? 95
4.2.4 Exploitation du corpus 96

4.3 Synthèse de l'analyse des controverses 98
4.3.1 Cinq dimensions de questionnement 98
4.3.2 Les questions sanitaires et environnementales suscitées par les nanoparticules et nanomatériaux 99
4.3.2.1 Des travaux pour évaluer la dangerosité des nanoparticules et nanomatériaux 99
4.3.2.2 La mesure des expositions aux nanoparticules et nanomatériaux 104
4.3.2.3 Régulation de l'utilisation des nanoparticules et des nanomatériaux 106
4.3.3 Les nouvelles perspectives pour la médecine et les questionnements sur l'homme et le vivant 117
4.3.3.1 De multiples perspectives d'utilisations en médecine. 117
4.3.3.2 Les questionnements suscités par l'utilisation des nanotechnologies en médecine 119
4.3.4 La protection des libertés à l'heure de l'essor des dispositifs communicants miniaturisés 125
4.3.5 Les rapports entre développements technoscientifiques et démocratie . 128
4.3.5.1 L'importance de "Faire des nanotechnologies une affaire publique" 128
4.3.5.2 Critiques de la manière dont sont pris les choix d'orientations scientifiques et technologiques 129
4.3.5.3 Critiques des procédures de débat 129
4.3.5.4 Des pistes pour mettre en débat les orientations scientifiques et technologiques 131
4.3.6 Les interactions entre enjeux économiques, sociaux et géostratégiques, et développements scientifiques et technologiques 132
4.3.6.1 Les nanotechnologies pour apporter des réponses à certains problèmes de nos sociétés 132
4.3.6.2 Les nanotechnologies, une opportunité de gagner en compétitivité et de créer des emplois 135
4.3.6.3 Agir pour rester dans la course 136
4.3.6.4 Droits de Propriété Intellectuelle 138
4.3.6.5 Des critiques formulées à l'encontre du modèle économique et social sous-tendant les nanotechnologies 139

4.4 Positionnement personnel et interrogations dans une perspective éducative . . 143
4.4.1 Les nanotechnologies : un ensemble de pratiques et d'objets hétéroclites qui trouvent leur unité au travers d'un projet politique 143
4.4.2 Interrogations dans une perspective éducative 144

II Travail empirique 147

5 Méthodologie 149

5.1 Description du terrain empirique 149
5.1.1 Grenoble et le développement des nanotechnologies. 149
5.1.1.1 L'organisation de la recherche grenobloise pour développer les nanotechnologies 149
5.1.1.2 Une contestation radicale de ces développements et du modèle de prise de décisions qui les sous-tend 151
5.1.2 Les ateliers Nano@school 152
5.1.3 Travail avec quatre enseignants dont les classes ont participé aux ateliers Nano@school 155

5.2 Une proposition de séquence pédagogique sur les controverses suscitées par les développements des "nanos" 157
5.2.1 Première activité : un jeu de rôle construit à partir de notre analyse des controverses 157
5.2.2 Deuxième activité : une recherche documentaire sur les différentes dimensions de la controverse 161
5.2.3 Troisième activité : une séance de synthèse 163
5.2.4 Présentation du contenu du cahier d'acteurs lors d'une "conférence" . . 164

5.3 Encadrement des séances et posture personnelle 166
5.3.1 Un encadrement que nous avons assuré 166
5.3.2 Posture pour la modération des débats et conséquences pour l'analyse . 166

5.4 Données recueillies 167
5.4.1 Nature des données et méthodes de recueil 167
5.4.2 Traitement des données. 171
5.4.3 Corpus analysé 172

5.5 Ancrages théoriques pour l'analyse et méthodologie d'analyse 172
5.5.1 Analyse des savoirs des élèves sur les controverses soulevées par les nanotechnologies 172
5.5.1.1 Entrée dans l'analyse par la dimension épistémologique du modèle de scolarisation des controverses de Albe 172
5.5.1.2 Méthode d'analyse des savoirs mobilisés par les élèves lors de l'activité de jeu de rôle 173
5.5.1.3 Méthode d'analyse des savoirs mobilisés par les élèves lors de la recherche documentaire 174
5.5.1.4 Méthode d'analyse des savoirs mobilisés par les élèves lors de l'activité de synthèse de la séquence pédagogique 175
5.5.2 Analyse de l'argumentation 176
5.5.2.1 Une multiplicité de façon d'entrer dans l'analyse de l'argumentation 176
5.5.2.2 Utilisation d'une approche pragma-dialectique pour nos analyses de l'argumentation. 178
5.5.2.3 Identification des paralogismes et des sophismes 179
5.5.2.4 Méthode d'analyse de l'argumentation 180

6 Analyse du jeu de rôle mis en place à Romans 185

6.1 Aperçu des thèmes abordés dans le jeu de rôle 185

6.2 Mise en regard du contenu des interventions et du contenu des documents étudiés et produits en préparation 186
6.2.1 Tour de table introductif 186
6.2.2 Priorités de recherches et conséquences de l'utilisation des nanoparticules 192
6.2.3 Utilisation des nanotechnologies en médecine 196
6.2.4 Toxicité 200
6.2.5 Protection des travailleurs 202
6.2.6 Absence de recul et information de la population 205
6.2.7 L'utilisation du nanodioxyde de titane dans les crèmes solaires 208
6.2.8 Nanotechnologies et pollution 210
6.2.9 Toxicité et écotoxicité des nanoparticules. 211
6.2.10 Développement des nanotechnologies sans urgence et amélioration des capacités humaines 216
6.2.11 Demande d'un moratoire 218
6.2.12 Information des citoyens, mise en débat et développement responsable . 219
6.2.13 Enjeux économiques et sociaux. 226
6.2.14 Protection des libertés et encadrement. 228
6.2.15 Développement responsable et encadrement éthique 235
6.2.16 Développements en médecine et interrogations suscitées par ces développements. 238
6.2.17 Propriété intellectuelle 245
6.2.18 Tour de table final. 245
6.2.18.1 Continuer l'évolution de l'homme et améliorer les conditions de vie 246
6.2.18.2 Les nanotechnologies permettent un grand progrès technique dans tous les domaines 247
6.2.18.3 Des avantages à développer les nanotechnologies en prenant toutefois des précautions 249
6.2.18.4 Des moyens pour développer les nanotechnologies, favoriser la coopération entre centres de recherche et protéger les salariés . 249
6.2.18.5 Encadrer les développements des nanotechnologies et contrôler l'évolution de l'Homme 251
6.2.18.6 Des risques non négligeables à prendre en compte 252
6.2.18.7 Demande d'un moratoire pour développer la sécurité et les recherches en toxicologie 253
6.2.18.8 Demande d'un moratoire pour permettre de consulter la population et de développer les recherches en toxicologie 254

6.3 Quel aperçu des controverses au travers du jeu de rôle ? 255
6.3.1 Présentations des différents acteurs du jeu de rôle 255
6.3.2 Questions sanitaires et environnementales 256
6.3.3 Utilisations en médecine 258
6.3.4 Protection des libertés 260
6.3.5 Rapport entre développements technoscientifiques et démocratie . . . 262
6.3.6 Interactions entre enjeux économiques et sociaux et développements technoscientifiques. 264

6.4 Analyse de l'argumentation 266
6.4.1 Une demande de moratoire qui suscite des prises de positions contradictoires 266
6.4.2 Sous-discussion sur la mise en débat des nanotechnologies 272
6.4.3 Argumentations sur l'imposition de limites aux recherches sur les nanotechnologies 273

6.5 Quelle mise à distance des discours portés par les organisations auteurs d'un cahier d'acteurs ? 277

7 Analyse de la discussion post jeu de rôle et de sa préparation 279

7.1 Analyse des documents remplis pour préparer la discussion finale 279
7.1.1 Les thèmes repérés par les élèves dans la discussion du jeu de rôle . . . 279
7.1.2 L'avis des élèves sur le contenu du cahier d'acteurs étudié 282
7.1.2.1 Des cahiers d'acteurs jugés "intéressants" par les élèves . . . 283
7.1.2.2 Des groupes affichant leur accord avec le contenu du cahier d'acteurs. 283
7.1.2.3 Des groupes nuançant leur positionnement par rapport au contenu du cahier d'acteurs 284

7.2 Analyse de la discussion post-jeu de rôle 285
7.2.1 Aperçu des thèmes abordés dans le débat 286
7.2.2 Analyse thématique des échanges 287
7.2.2.1 Des avantages opposés à des risques "à prendre en compte" . . 287
7.2.2.2 Préserver la santé des individus et l'environnement 294
7.2.2.3 La nanomédecine en question 298
7.2.2.4 Puces électroniques 303
7.2.2.5 Rôle de la société 307
7.2.2.6 Économie 311
7.2.2.7 Des élèves qui estiment apprendre des choses 312
7.2.2.8 Une multiplicité de points de vue jugée déconcertante par certains élèves 315
7.2.3 Analyse de l'argumentation des élèves 316
7.2.3.1 Discussion pour éclaircir les engagements de l'Académie de Médecine et des Transhumanistes 316
7.2.3.2 Les prises de position de la Fondation Sciences Citoyennes jugées pas entièrement satisfaisantes 319
7.2.3.3 Discussion sur les inégalités entre pays engendrées par l'amélioration de l'humain 322
7.2.3.4 Discussion sur les inégalités entre individus engendrées par l'amélioration de l'humain 325
7.2.4 Discussion 329
7.2.4.1 Une propension à discuter d'abord des réalisations et des effets des nanotechnologies 329
7.2.4.2 Comment les élèves s'emparent-ils des différents questionnements interrogeant les productions des nanotechnologies et leurs effets ? 330
7.2.4.3 Une grille d'analyse binaire 333

8 Analyse de l'activité de recherche documentaire 335

8.1 Documents choisis par les élèves 335
8.1.1 Quels documents ont été retenus ? 335
8.1.1.1 Aspects sanitaires et environnementaux : Des documents mettant en avant l'importance de l'environnement, du développement durable, de la consommation et de l'investissement responsables 335
8.1.1.2 Utilisations en médecine : des sites d'acteurs partie prenante du développement des nanotechnologies, d'acteurs questionnant ce qu'est la NBIC et un site de TPE. 336
8.1.1.3 Protection des libertés : Des documents sur la technologie RFID et des documents issus de Wikipédia, de la CNIL, du site de la Fondation Sciences Citoyennes 338
8.1.1.4 Développements technoscientifiques et démocratie : Des documents produits par des associations travaillant à l'appropriation citoyenne des choix scientifiques et technologiques. . . . 340
8.1.1.5 Enjeux économiques et sociaux : Des documents produits par le Ministère de l'économie, la Commission Européenne et un article de Wikipédia 340
8.1.2 Comment les élèves situent les acteurs des documents qu'ils ont retenus ?340
8.1.2.1 Réponses à la question "qui a écrit ce document ?" 340
8.1.2.2 Des réponses diverses pour rendre compte des missions revendiquées par les auteurs des documents 342
8.1.2.3 Informations sur le financement des travaux des auteurs du document 345
8.1.3 Comment les élèves justifient leurs choix de documents ? 348

8.2 Exploitation des documents 351
8.2.1 L'aperçu de la controverse donné au travers de l'exploitation des documents 351
8.2.1.1 Aperçu sur les nanoparticules et les nanomatériaux et leur toxicité 351
8.2.1.2 Des initiatives en matière de réglementation, de financement des recherches en toxicologie ou de veille sanitaire 352
8.2.1.3 Des possibilités ouvertes pour la médecine et des questions sanitaires mises en avant à plusieurs reprises. 354
8.2.1.4 La NBIC, un thème sur lequel les élèves ont récolté peu d'information 356
8.2.1.5 Des questionnements sur l'utilisation des nanotechnologies en médecine parfois ramenés aux questions sanitaires posées par les nanoparticules 358
8.2.1.6 Présentation des RFID 360
8.2.1.7 Traçage, atteintes à la vie privée... Des éléments qui reviennent dans les propos des élèves 361
8.2.1.8 Des prises de positions en faveur de la participation des citoyens aux choix scientifiques. 365
8.2.1.9 De l'importance d'informer les citoyens 370
8.2.1.10 Un inventaire d'une multiplicité de secteurs concernés par les nanotechnologies et un accent mis sur la gestion des risques . 372

8.2.1.11 Répercussion de discours institutionnels sur les avancées pour "le confort", "la vie" et les perspectives économiques 375
8.2.1.12 Les interrogations en matière économiques et sociales ramenées à un ensemble d'interrogations génériques sur les "risques", les "problèmes éthiques", "la course à l'armement", "le principe de précaution"... 378
8.2.2 Confrontation entre les productions des élèves et le contenu des documents 380
8.2.2.1 Glissements entre le contenu du document et la manière dont les élèves en rendent compte 380
8.2.2.2 Des expressions dont la signification n'est pas claire pour les élèves 384
8.2.2.3 Absence de répercussion des indications sur la fiabilité des assertions d'un article Wikipédia 386
8.2.2.4 Des éléments apportés par les élèves 387

8.3 Discussion 388
8.3.1 Une confrontation aux discours d'acteurs divers 388
8.3.2 L'aperçu des controverses forgé par la classe 390
8.3.3 Une tension entre examen critique des discours et volonté d'apporter des réponses aux questions posées ? 393

9 Analyse de la séance de synthèse et de préparation de questions 397

9.1 Analyse des amendements proposés par les élèves à la synthèse de leurs présentations 398
9.1.1 Demande d'un moratoire 398
9.1.2 Demande de mieux insister sur certaines thématiques abordées dans la synthèse 399

9.2 Les thèmes considérés comme les plus importants du texte par les élèves . . . 400
9.2.1 L'importance des questions sanitaires et environnementales 401
9.2.1.1 Des dimensions de la controverse considérées comme essentielles par principe 401
9.2.1.2 Un accent sur l'incertitude 402
9.2.1.3 Des élèves qui se sentent directement concernés 402
9.2.1.4 Deux propositions d'actions 402
9.2.1.5 Un intérêt pour les questions de toxicité qui transparaît en filigrane 403
9.2.2 Des problèmes de protection des libertés et des données qui préoccupent tous les élèves 403
9.2.2.1 Des élèves qui se sentent directement concernés par ces questions 403
9.2.2.2 Des groupes qui mettent l'accent sur les problèmes de protection des données 405
9.2.2.3 Des groupes qui mettent l'accent sur la protection de la vie privée 405
9.2.2.4 Des groupes qui mettent l'accent sur la "sécurité des individus" 406
9.2.3 L'importance des bénéfices que pourraient apporter les nanotechnologies 406
9.2.3.1 Des références au "progrès" 406

9.2.3.2 Les perspectives ouvertes pour la médecine mentionnées par de nombreux élèves . . . 407
9.2.3.3 Des références aux utilisations pour protéger l'environnement . 407
9.2.3.4 Des références aux retombées économiques promises. 408
9.2.4 Transparence, information des citoyens, et prise en compte de l'avis de la population . . . 409

9.3 Discussion . . . 410

9.4 Les questions préparées par les élèves . . . 412
9.4.1 Des questions sur les "risques" sonnant comme des interpellations et une remise en cause des discours tenus lors de Nano@school . . . 412
9.4.2 Des questions sur les atteintes à la vie privée pour laquelle ils ont déjà des éléments de réponse . . . 414
9.4.3 Une question sur les créations d'emploi permises par les nanotechnologies . . . 414
9.4.4 Des questions sur l'utilité des nanotechnologies . . . 414

9.5 Discussion . . . 416

III Discussion 419

10 Discussion générale 421

10.1 Principaux résultats . . . 421
10.1.1 Comment des élèves de lycée comprennent-ils les controverses soulevées par les nanotechnologies ? . . . 422
10.1.2 Dans quelle mesure les élèves sont-ils capables de considérer de manière critique les différents discours portés par différents acteurs de la controverse ? . . . 424
10.1.3 Confrontation de ces résultats avec notre analyse des controverses . . . 425
10.1.4 Apports et limites des cadres d'analyse mis en œuvre . . . 427

10.2 Retour sur la séquence pédagogique élaborée dans cette recherche et sur le choix de travailler suivant une perspective *design-based* . . . 429
10.2.1 Dans quelle mesure notre séquence pédagogique permet de répondre aux enjeux éducatifs de notre recherche ? . . . 429
10.2.2 Considérations pédagogiques, dans une perspective de recherche "*design-based*" . . . 430
10.2.2.1 Conserver un examen de la controverse dans son ensemble ? . 430
10.2.2.2 Supprimer le vote qui précède la discussion post-jeu de rôle ou en modifier les modalités ? . . . 430
10.2.2.3 Travailler la gestion du débat pour dépasser les prises de positions "il y a des bénéfices et des risques qu'il faut prendre en compte" . . . 430
10.2.2.4 Modifier les consignes et les fiches guidant les recherches documentaires et étaler dans le temps cette activité ? . . . 431
10.2.2.5 Retour critique sur la dernière séance, le positionnement de Nano@school vis-à-vis de la séquence et l'organisation de la "conférence" . . . 432

10.2.3 La mise en œuvre des principes des recherches *design-based* dans notre travail . . . 434
10.2.3.1 Double visée de recherche et d'intervention et respect des participants à la recherche . . . 435
10.2.3.2 Des cycles d'élaboration de séquence d'enseignement, de mise en œuvre et d'analyse pour documenter quelle forme peut prendre la scolarisation des controverses "nanos" . . . 435
10.2.3.3 Produire des savoirs communicables . . . 435
10.2.3.4 Des données très riches garantissant la robustesse des résultats produits . . . 436
10.2.3.5 Un travail avec des classes sans singularité évidente permettant d'aboutir à des résultats réutilisables ailleurs . . . 436

10.3 Quelques questions sur l'étude en classe des controverses socioscientifiques, en particulier celles soulevées par les nanotechnologies. . . . 437
10.3.1 Des similitudes entre les discours des élèves et le discours de "l'innovation responsable" . . . 437
10.3.2 En quoi un discours des élèves reprenant celui de "l'innovation responsable" peut-être problématique ? . . . 437
10.3.3 Des recherches sur les questions socioscientifiques pour aller au delà d'un discours proche de ceux de l'innovation responsable . . . 439
10.3.3.1 Des recherches centrées sur l'identification des intérêts des acteurs de la controverse . . . 439
10.3.3.2 Retour sur le modèle de scolarisation des controverses d'Albe : importance de l'analyse des controverses . . . 440
10.3.4 Notre recherche sur les controverses "nanos" dans le paysage de la recherche en éducation . . . 441

11 Quelques pistes de recherches pour prolonger la réflexion 445

11.1 Prolonger le travail empirique mené dans cette thèse . . . 445

11.2 Les nanotechnologies dans l'enseignement secondaire : quelles initiatives pour quelles politiques éducatives et technoscientifques sous-jacentes ? . . . 445

11.3 Nano@school : "*comment les acteurs s'arrangent avec l'incertitude ?*" . . . 446

12 Conclusion générale 449

IV Annexes 465

13 Consignes et documents de l'activité de jeu de rôle 467

13.1 Jeu de rôle sur les enjeux des développements des nanotechnologies . . . 468

13.2 Diapositives présentées aux élèves lors de l'exposé des consignes . . . 476

13.3 Fiches distribuées aux élèves . . . 481

13.4 Cahiers d'acteurs distribués aux élèves . . . 489
13.4.1 Raisons motivant le choix des documents retenus . . . 489
13.4.2 Cahiers distribués . . . 493

13.5 Phrases résumant le contenu des cahiers proposées par les élèves 529

14 Documents de l'activité de recherches documentaires 531

14.1 Déroulement de la séance et consignes 532

14.2 Fiches distribuées aux élèves 537

14.3 Documents récoltés par les élèves 548

15 Consignes et documents distribués aux élèves lors de la dernière séance 625

16 Préparation des interventions des élèves pendant la "conférence" 645

17 Retour sur l'influence de Nano@school 655

17.1 Les obstacles à la co-construction d'un dispositif avec les enseignants 655

17.2 Des contraintes d'emploi du temps 658

18 Analyse de la première mise en œuvre du jeu de rôle à Grenoble 661

18.1 Objectifs de l'analyse et méthodologie 661

18.2 Aperçu des thèmes discutés au cours du jeu de rôle 661

18.3 Analyse du contenu des échanges : Mobilisation du contenu des cahiers d'acteur et argumentation 662
18.3.1 Tour de table introductif : présentation des acteurs et de leurs missions 662
18.3.2 Clinatec et l'utilisation des nanotechnologies en médecine 667
18.3.3 Menaces pour les libertés, réglementation, et convergence des technologies 676
18.3.4 Risques sanitaires, environnementaux et la gestion de ces risques . . . 685
18.3.5 Aspects économiques et perspectives ouvertes par les développements des nanotechnologies 698
18.3.6 Priorités de recherche 702
18.3.7 Toxicité et absence de recul 708
18.3.8 Mise en débat et information des gens 713
18.3.9 Utilisation des nanoparticules et impacts environnementaux 726
18.3.10 Réglementation et protection des données médicales 732
18.3.11 Développement des recherches en particulier sur les questions environnementales 741
18.3.12 Information des citoyens 745
18.3.13 Tour de table de conclusion 747
18.3.13.1 Moratoire sur la recherche et la commercialisation 747
18.3.13.2 Garantir la confidentialité des informations 748
18.3.13.3 Développer les nanotechnologies en s'assurant de la protection des invididus 749
18.3.13.4 Développer les nanotechnologies en tenant compte des risques éventuels 750
18.3.13.5 Développer les nanotechnologies, trouver des solutions pour la sécurité, puis communiquer 751

18.3.13.6 Une révolution exceptionnelle à mener en douceur et en informant les gens . . . 752
18.3.13.7 Des bienfaits, manque de recul et information du public . . . 754
18.3.13.8 Manque de recul et d'information . . . 755
18.3.13.9 Prendre du recul et établir une réglementation . . . 756
18.3.13.10 L'exemplarité de l'industrie cosmétique . . . 757

18.4 Résumé thématique du contenu du jeu de rôle et discussion . . . 759
18.4.1 Questions sanitaires et environnementales . . . 759
18.4.2 Utilisations en médecine des nanotechnologies . . . 763
18.4.3 Mise en danger des libertés . . . 766
18.4.4 Rapports entre développements technoscientifiques et démocratie . . . 767
18.4.5 Interactions entre enjeux économiques et sociaux, et développements technoscientifiques . . . 772
18.4.6 Quelle mise à distance des discours présentés dans les cahiers d'acteur ? 774

19 Analyse des fiches remplies par les élèves après le jeu de rôle (Grenoble) 777

19.1 Examen thématique des fiches remplies par les élèves après le jeu de rôle . . . 777
19.1.1 Protection de l'environnement . . . 777
19.1.2 L'utilité des nanotechnologies en particulier dans le domaine de la santé 779
19.1.3 Toxicité et incertitude . . . 780
19.1.4 Réglementation . . . 782
19.1.5 Communication, vulgarisation et prise en compte de l'avis de la population . . . 782
19.1.6 Problèmes éthiques . . . 783

19.2 Discussion . . . 783

20 Analyse de la discussion qui a suivi le jeu de rôle (Grenoble) 785

20.1 Analyse du contenu des échanges . . . 787
20.1.1 Des applications utiles . . . 787
20.1.2 L'importance accordée aux questions sanitaires et surtout environnementales soulevées par le développement des nanotechnologies . . . 789
20.1.3 Maîtriser et réguler le développement des nanotechnologies . . . 791
20.1.4 Prise de distance par rapport au jeu de rôle ou aux cahiers d'acteur . . . 794
20.1.5 Demandes d'éléments concrets . . . 798

20.2 Bilan et discussion à la lumière de l'analyse du jeu de rôle . . . 800
20.2.1 Réduction de la complexité de la controverse . . . 801
20.2.2 Du concret pour dépasser le flou et les généralités ? . . . 802
20.2.3 Quelques réflexions sur la mise en œuvre de cette activité de jeu de rôle 803

Première partie

Introduire les nanotechnologies dans l'enseignement secondaire : quels enjeux et quelles recherches ?

Introduction

Si un soir de décembre 2009, vous vous êtes hasardés dans le Sud de Grenoble, vous avez pu voir devant le centre de congrès Alpexpo, une longue file sombre d'individus piétinants, une longue file sinueuse de personnes frigorifiées attendant de rentrer dans la gueule d'une salle de conférence ;

Si un soir de décembre 2009, vous vous êtes attardés devant cette foule longiligne d'ombres emmitoufflées, vous avez peut-être entrevu que ces personnes attendaient qu'on les fouille. La file se scindait en deux. Les femmes d'un côté, les hommes de l'autre. Et des mains fureteuses palpaient furieusement les habits, ouvraient les sacs, fouillaient les poches. Puis au compte-goutte, les personnes inspectées pénétraient dans la chaleur d'un hall baigné de lumière.

Si, interloqués, en ce soir de décembre 2009, vous vous êtes renseignés sur la raison de ces piétinements et de ces palpations, on vous a certainement dit que toutes ces silhouettes frisonnantes attendaient pour assister au débat public sur les nanotechnologies. Sur les nanotechnologies et leur régulation.

Et ce soir-là, si vous êtes entrés dans la salle du débat, vous avez pu vous rendre compte que le débat n'a pas eu lieu. Un déluge sonore a submergé la pièce, un déluge de voix a dénoncé ce qu'elles considéraient comme une parodie de démocratie. Et ce refus tonitruant d'une manœuvre d'acceptabilité des "nanos" a eu raison de la discussion. Pas de violence physique, mais le vacarme... Et émergeait çà et là de ce flot assourdissant, des slogans acérés qui fendaient l'air : "flic, chercheur, ou militaire, qu'est-ce qu'on f'rait pas, pour un salaire".

On vous a alors poussés vers la sortie. Et quand vous vous êtes retrouvés dehors, une muraille humaine munie de matraques et de boucliers vous a fait une haie d'honneur couleur de nuit.

Si quelques mois plus tard, un jour de décembre 2010, vous flâniez de page en page sur Internet, au détour d'un clic involontaire, vous vous êtes peut-être retrouvés nez à nez avec les nouveaux programmes scolaires... D'accord, les chances sont faibles, mais imaginons.

Vous êtes sur le site "http ://eduscol.education.fr". Votre regard glisse sur les différents onglets et négligemment, vous ouvrez le programme de sciences physiques destiné aux classes de premières S. Un grand tableau truffé de thèmes à présenter aux élèves de cette filière s'ouvre devant vous. Les pages se succèdent. Vous arrivez bientôt à la dernière et là, votre regard se heurte à un mot de 10 lettres niché en haut à gauche du tableau. Le mot dit : "Nanochimie". Vous regardez le détail de ce que l'institution scolaire recommande aux enseignants. La case de droite vous explique qu'il faut amener les élèves à

> *"Recueillir et exploiter des informations sur un aspect de la nanochimie (nanotubes de carbone, nanomédicaments, nanoparticules métalliques, etc.)."*

Recueillir et exploiter des informations. Tout ça sonne lisse, aseptisé.

Par le truchement de la nanochimie les nanotechnologies ont pénétré le programme scolaire français et l'intégration semble sans remous. Le tranchant des slogans qui résonnaient à Alpexpo s'est émoussé en intégrant les pages du bulletin officiel. Le programme semble permettre d'aborder la nanochimie en la découplant du reste des nanotechnologies et en proposant un traitement factuel, qui évacuerait la discussion des enjeux politiques, économiques,

sociaux et éthiques de ces développements. Le rugissement mi potache mi furieux qui a fait avorter le débat à Grenoble en décembre 2009 est mis en sourdine.

Si songeur, vous laissez alors vos yeux dériver un peu plus loin le long des lignes du programme, vous allez peut-être remarquer qu'on demande aussi aux enseignants de traiter de :

> *"Culture scientifique et technique ; relation science-société. Métiers de l'activité scientifique (partenariat avec une institution de recherche, une entreprise, etc.)."*

Vous réfléchissez donc. Peut-être finalement y a-t-il un espace pour traiter en classe des controverses soulevées par les nanotechnologies. Seulement comment s'y prendre ? Et comment des lycéens peuvent-ils s'emparer des questionnements que ces développements suscitent ? Notre thèse s'intéresse à ces questions.

Le développement des nanotechnologies est porteur d'enjeux forts en ce début de XXI ème siècle. Or il nous semble que l'école a un rôle à jouer pour former les citoyens à discuter des développements technoscientifiques. Selon nous, un enseignement scientifique général formant des citoyens qui, pour la plupart, n'embrasserons pas une carrière "scientifique" doit permettre aux élèves de s'informer pour comprendre les enjeux d'une controverse socioscientifique. Il doit leur donner des outils pour se forger une opinion en propre voire, s'ils le souhaitent, pour s'engager dans l'action sociale.

Dans une perspective d'éducation citoyenne, nous estimons donc, que si les nanosciences et les nanotechnologies font irruption dans l'enseignement secondaire, alors cette scolarisation doit outiller les élèves pour discuter des enjeux de ces développements ; de leurs enjeux scientifiques et techniques mais aussi et surtout de leurs enjeux politiques, sociaux, économiques et éthiques.

Comment atteindre cet objectif et jusqu'où est-il possible d'aller dans la compréhension de ces enjeux par les élèves ?

Dans les pages de ce manuscrit, nous allons rendre compte de nos travaux qui interrogent la façon dont il est possible d'introduire les nanosciences et les nanotechnologies dans l'enseignement secondaire, dans une visée d'éducation aux sciences pour la citoyenneté et compte tenu des enjeux dont sont porteurs ces développements.

La première partie de cette thèse esquisse le paysage scientifique dans lequel s'inscrit notre recherche. Nous y éclairons d'abord très brièvement par quelques éléments issus de la littérature de sociologie de l'innovation le contexte d'émergence des nanosciences et des nanotechnologies et de leur introduction dans l'enseignement secondaire. Nous effectuons ensuite une revue de la littérature de recherche en éducation afin de documenter sous quels angles ont été étudiées les initiatives mises en œuvre jusqu'alors pour introduire les "nanos" dans le secondaire. Cet état de l'art met en évidence qu'en dépit d'une rhétorique qui met en avant la nécessité d'outiller les citoyens à prendre des décisions dans un monde pénétré de nanotechnologies, la recherche a peu étudié comment les dimensions controversées de ces développements pouvaient être prises en charge dans l'enseignement secondaire.

Nous posons ensuite nos choix théoriques.

Notre travail de thèse poursuit deux objectifs. Le premier est un objectif de recherche en didactique des sciences. Au travers d'une étude empirique, nous avons cherché à mieux comprendre comment l'école peut contribuer à doter les élèves d'outils intellectuels pour participer et peser sur les choix technoscientifiques des sociétés dans lesquels ils grandissent et vivront leur vie d'adulte.

Le deuxième objectif que nous avons poursuivi parallèlement, au travers la mise en place d'expérimentations en classe, était plus interventionniste. Par delà notre recherche de compréhension, nos travaux empiriques avaient aussi pour vocation de fournir des outils aux enseignants qui souhaiteraient proposer à leurs élèves de s'emparer des interrogations soule-

vées par les développements des nanotechnologies. Ces deux visées étant établies, nous avons choisi d'inscrire notre travail dans la lignée des recherches *design-based* (The Design-Based Research Collective, 2003), qui possèdent un double objectif d'élaboration d'environnements d'apprentissage et de production de savoirs en éducation.

Par ailleurs, les nanosciences et les nanotechnologies constituent ce qu'en éducation aux sciences l'on nomme couramment une "question socioscientifique", c'est à dire une question pour laquelle les dimensions sociales et les dimensions scientifiques jouent des rôles centraux (Sadler, 2004). Ceci nous a conduits à appuyer notre travail sur la construction théorique de Albe (2007). Cette auteur a proposé un modèle pour guider l'élaboration et l'analyse de situations d'étude en classe de controverses socioscientifiques, afin de documenter la viabilité de leur scolarisation. Cette construction théorique met en particulier l'accent sur l'importance de la diversité des savoirs en jeu dans une controverse. Dans la droite file de ce choix théorique et afin d'éclairer nos choix éducatifs, nous avons alors réalisé une analyse des controverses soulevées par les nanotechnologies.

La deuxième partie de ce manuscrit est consacrée à la description de notre étude empirique. À partir de notre analyse des controverses, nous avons construit une séquence pédagogique dans laquelle nous avons pris le parti de conserver la complexité de la controverse soulevée par les nanotechnologies, telle qu'elle existe en société.

Cette séquence pédagogique a été mise en œuvre dans 4 classes de première S de l'académie de Grenoble. Les activités organisées se sont articulées autour d'un jeu de rôle qui devait permettre aux élèves d'avoir un premier aperçu de la controverse et de se forger une première opinion. Pour cette activité, nous avons fait le choix de ne pas proposer aux élèves une reconstruction des thèses des acteurs de la controverse, mais de leur mettre en les mains des documents directement issus de l'espace social. Pour cela, nous avons choisi des textes accessibles à des élèves de lycée, tout en respectant la variété des thèmes, des prises de positions et des arguments échangés dans les débats sur les nanotechnologies en France.

Ce jeu de rôle a été suivi par une activité de recherche documentaire où les élèves ont approfondi leur compréhension de la controverse et où ils ont été incités à s'interroger sur leur propre point de vue. Par ailleurs, partant du principe qu'une éducation aux sciences pour la citoyenneté doit outiller les élèves à se documenter de manière réfléchie et critique, nous les avons laissés choisir leurs documents en guidant leurs recherches simplement par des questions et des fiches d'évaluation des sources documentaires.

Enfin la séquence pédagogique s'est achevée par une séance de production d'un document de synthèse reprenant les prises de position des élèves et rendu public sur le site Internet du lycée. Du point de vue de l'appropriation citoyenne des enjeux des nanotechnologies, les élèves ont alors été placés dans le rôle d'acteurs, capables de formuler un point de vue argumenté sur la controverse.

La mise en œuvre de ces différentes activités a donné lieu à divers recueils de données (films des discussions en classe entière, enregistrement des conversations en petits groupes, recueil des fiches remplies et des documents sélectionnés par les élèves). Nous avons alors analysé qualitativement les productions orales et écrites des élèves pour cerner comment, au travers de cette séquence pédagogique, ils comprenaient et s'emparaient des différentes dimensions de la controverse. D'autre part, nous avons cherché à estimer si et comment, au travers de cette séquence pédagogique, il leur était possible de prendre de la distance par rapport aux différents discours portés par différents acteurs sur les nanotechnologies.

L'analyse approfondie de la dernière implémentation de cette séquence pédagogique constitue le cœur de la deuxième partie de ce manuscrit.

Finalement, la dernière partie de ce document est consacrée à la discussion de nos résultats de recherche. Nous y discutons des questions suivantes : les résultats que nous avons obtenus

montrent-ils que les élèves se sont appropriés la controverse dans toute sa diversité ? Ont-ils été capables de prendre de la distance par rapport aux discours sur les nanosciences et les nanotechnologies auxquels ils ont été confrontés ? En quoi nos choix théoriques se sont-ils avérés pertinents et quels sont les limites des cadres que nous avons utilisés ? Enfin, quels sont les apports de notre travail de thèse pour la recherche en éducation aux sciences ?

Chapitre 1

Contexte général

Depuis plusieurs années, des initiatives ont été mises en place pour introduire les nanosciences et les nanotechnologies dans l'enseignement secondaire. C'est le cas aux États-Unis notamment sous l'impulsion de la National Science Foundation (NSF) mais aussi en France où le plan NanoInnov lancé en 2009 pour développer les nanotechnologies comprenait un projet "Nano école", affichant comme objectif d'"expérimenter l'introduction des nanotechnologies à l'école"[1].

Notre thèse en didactique des sciences s'inscrit dans ce contexte. En nous plaçant dans une perspective d'éducation aux sciences pour la citoyenneté, notre objectif au travers de ce manuscrit est d'interroger la manière dont il est possible de prendre en charge les nanosciences et nanotechnologies dans l'enseignement secondaire.

Les "nanos" seront donc au cœur des pages qui vont suivre. Aussi, avant toute chose, nous allons brièvement questionner ces termes : nanosciences et nanotechnologies.

1.1 Nanosciences, Nanotechnologies ?

"Nano" fait référence au nanomètre. Pour définir les termes de nanosciences et de nanotechnologies, nous pouvons donc retenir une première définition mettant l'accent sur l'échelle de taille comme le font par exemple celles que propose Vinck, sociologue des sciences et de l'innovation :

> *"les nanotechnologies sont l'ensemble des connaissances et des techniques grâce auxquelles on crée, manipule, visualise et utilise des objets (matériaux ou machines) qui sont de l'ordre du nanomètre. Elles concernent la conception, la caractérisation, la production et les applications de matériaux et de systèmes à cette échelle."* (Vinck, 2009, p.14)
>
> *"Les nanosciences désignent l'étude scientifique des phénomènes et des objets à l'échelle nanométrique dont les propriétés diffèrent parfois de ce qui est observé à grande échelle."* (Vinck, 2009, p.14)[2]

Ces premières définitions larges ne permettent toutefois pas, comme le souligne Vinck lui-même, de délimiter d'une manière nette les frontières du domaine. Elles ne permettent pas

1. http ://www.nano-ecole.fr/ consulté le 06/06/2012
2. Ces définitions sont assez proches de celles qu'on trouve dans le rapport de la Royal Society paru en 2004 où l'on peut lire :

> *"Nanoscience is the study of phenomena and manipulation of materials at atomic, molecular and macromolecular scales, where properties differ significantly from those at a larger scale.*
>
> *Nanotechnologies are the design, characterisation, production and application of structures, devices and systems by controlling shape and size at nanometre scale." (Royal Society and Royal Academy of Engineering, 2004, p.5)*

de trancher à partir de quelle taille, on outrepasse les limites de l'échelle nanométrique, ni à quels objets on va appliquer cette limite de taille. Par exemple, considère-t-on que seuls les nano-objets dont aucune dimension ne dépasserait 100 nm relèveraient des nanotechnologies ? Faut-il inclure des objets comme les nanotubes de carbone dont le diamètre est de l'ordre d'un ou quelques nanomètres mais qui peuvent mesurer plusieurs millimètres de long ? Faut-il permettre à cette définition d'englober les nanomatériaux où des nano-objets sont inclus au hasard dans un matériau ? Faut-il prendre en compte les travaux pour lesquels l'échelle nanométrique correspond au degré de précision de manipulation de la matière ?

Cette première définition souligne néanmoins que lorsqu'on parle de nanosciences et de nanotechnologies, il n'est pas seulement question de connaissances. Il est aussi question de techniques, d'instruments, qui permettent d'observer et de manipuler des objets nanométriques. Cet accent sur l'instrumentation, qui en quelque sorte fédère les nanotechnologies, est aussi mis en avant par Laurent (2010). Ce chercheur en sociologie de l'innovation pointe également trois autres traits des nanotechnologies.

D'abord, comme le fait aussi Vinck (2009), il souligne la diversité des objets et des recherches qui peuvent être rassemblées sous ce vocable. Sont considérées par certains acteurs comme relevant des nanotechnologies des recherches sur la mise au point de matériaux plus résistants, plus souples... ; des travaux dans le domaine de l'électronique pour diminuer la taille des composants notamment au travers de l'électronique moléculaire ; des recherches à l'interface entre physique et biologie par exemple pour s'inspirer d'arrangements moléculaires existant au sein des cellules et "fonctionnaliser" des molécules...
Les nanotechnologies sont donc un domaine protéiforme. À ce propos Vinck (2009) souligne la coexistence de deux approches technologiques différentes au sein des recherches qui briguent l'appellation de nanotechnologie. La première, "top-down," renvoie à la miniaturisation. Les développements des nanotechnologies apparaissent alors comme le prolongement d'une tendance amorcée il y a plusieurs dizaines d'années. La seconde "bottom-up" , en rupture avec la première, consiste au contraire à construire des objets en assemblant des molécules.

Outre ce caractère multiforme des nanotechnologies, Laurent note aussi que ces travaux sont souvent conduits selon une démarche héritière des sciences des matériaux qui vise à rechercher de nouvelles propriétés en manipulant la matière. Cet accent sur les modifications qualitatives du comportement des objets liés au confinement à l'échelle nanométrique figure d'ailleurs dans plusieurs essais de définitions. C'était par exemple le cas dans celle de Vinck que nous avons retranscrite il y a de cela quelques lignes.

Cette recherche de nouvelles propriétés rend, selon Laurent (2010), l'association entre sciences et technologies particulièrement étroite surtout que ces travaux sont souvent mis en perspective avec des problèmes très concrets. Vinck indique d'ailleurs que, pour rendre la définition de nanotechnologies moins abstraite, celle-ci est couramment illustrée par une panoplie d'applications que permettraient les nanotechnologies à plus ou moins long terme : des applications médicales (vectorisation des médicaments, nouveaux traitements, laboratoires sur puces, nano-robots réparant les tissus...), des applications pour l'environnement (dépollution, nouveaux matériaux permettant de limiter la consommation énergétique...), des applications militaires (armes intelligentes, équipements pour la protection des soldats)...

Enfin, le troisième point que Laurent (2010) met en avant au moment de donner un premier aperçu des nanotechnologies, a trait à la volonté politique qui contribue à modeler les nanotechnologies. Cet auteur relève que ces développements bénéficient de programmes de soutien public qui, au travers d'appels à projets, d'incitations à tisser des liens entre les disciplines et entre universités et secteur privé participent à faire exister les nanotechnologies.

Cette existence des nanotechnologies au travers de grands programmes est manifeste aux États-Unis mais pas seulement. Ainsi, si les États-Unis ont les premiers lancé en 2000 la

National Nanotechnology Initiative (NNI) et ont alors financé les nanotechnologies à hauteur de 500 millions de dollars pour l'année fiscale 2001 [3], un grand nombre de pays leur ont ensuite emboîté le pas. Vinck (2009) rapporte que dès 2002, la Commission Européenne a investi 1,4 milliards de d'euros dans les nanosciences et les nanotechnologies au travers de son sixième programme-cadre pour la période 2003-2006. Le Japon et la Chine se sont aussi rués dans cette course à l'innovation, mais également, le Canada, la Corée du Sud, Taïwan, l'Inde, la Russie, le Brésil, l'Australie, l'Ukraine, le Mexique... (Liu, 2007)
Par ailleurs, le développement de ces programmes est, comme le rappelle Laurent (2010), marqué par un objectif de compétitivité économique clairement exprimé. Il s'agit de pouvoir tirer profit d'un marché estimé à plusieurs milliards d'euros. Ainsi, comme l'écrit Vinck, l'enjeu de la définition des nanotechnologies n'est pas seulement sémantique :

> *(...) derrière les définitions, il est effectivement question d'allocation de ressources (subventions pour la recherche ou pour le développement industriel, adhésion du public et acceptation sociale des produits), et de contraintes (standardisation des produits législation, organisation des programmes de recherche et développement). La définition est donc stratégique pour les acteurs.*(Vinck, 2009, p. 20)

1.2 Les nanotechnologies, une "politique scientifique globale"

Avant de nous intéresser spécifiquement à l'introduction des nanosciences et des nanotechnologies dans l'enseignement secondaire, il nous semble éclairant de donner quelques détails supplémentaires sur ces programmes de recherches qui ont façonné et continuent de structurer le développement des nanotechnologies. Ces quelques indications pourront en effet nous permettre d'interroger avec plus de pertinence les discours sur l'introduction dans l'enseignement secondaire des nanosciences et des nanotechnologies.

Des sociologues des sciences et de l'innovation comme Vinck (2009) et Laurent (2010), mais aussi des philosophes des sciences comme Bensaude-Vincent (2009, 2004) et Dupuy (2004), pour ne citer que quelques auteurs français, ont interrogé l'émergence des nanotechnologies. En particulier, Laurent s'est intéressé aux politiques des nanotechnologies en France et aux États-Unis. Dans un livre explorant cette thématique, il met en lumière au moins trois aspects importants de la construction des programmes nanotechnologiques.

Premièrement, les nanotechnologies sont souvent présentées comme le produit d'une histoire héroïque [4]. Ce récit commence par le discours de Feynman [5], prix Nobel visionnaire qui, dans un discours en 1959, aurait le premier entrevu les innombrables possibilités ouvertes par la miniaturisation des nanotechnologies. Selon Laurent, ce placement des nanotechnologies sous le patronage de Feynman est complétée par un récit linéaire de l'histoire de la physique de la fin du XXème siècle qui progresserait d'un prix Nobel à l'autre, sur le chemin de la maîtrise de la matière à l'échelle du nanomètre. Laurent montre cependant que cette utilisation de Feynman fait l'objet de controverses.

En 1986, Drexler, ingénieur diplômé du MIT publie un livre "les engins de créations". Se réclamant de l'héritage de Feynman, il y décrit une vision du futur, où des assembleurs moléculaires seraient capables d'agencer la matière de façon rationnelle et de s'auto-répliquer. Ce livre aux accents prophétiques remporte d'abord un certain succès, en particulier auprès de

3. D'après le supplément au budget pour l'année fiscale 2012 (consulté sur le site de la NNI http ://www.nano.gov/node/602, le 09/11/2012), cette dotation n'a cessée de croître pour atteindre 2,1 milliards de dollars dans le budget 2012. En revanche, en 2013, il semble que le budget attribué à la NNI diminue un peu : un financement de 1,8 milliards de dollars est prévu.

4. pour reprendre les mots de Laurent

5. Le script de cette conférence est disponible en ligne à l'adresse http ://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html (dernière visite le 09/11/2012)

certains scientifiques et acteurs de la politique scientifique. Puis, Laurent note que certains acteurs, et notamment des industriels de la NanoBusiness Alliance créée en 2001, s'en détachent, refusant l'héritage de Drexler et ses scénarios futuristes (pour certains catastrophistes).

Outre cette lecture particulière de l'histoire, Laurent note que les programmes de soutien aux nanotechnologies sont marqués par des visions du futur qui contribuent à les façonner. Il relève l'existence d'une littérature futuriste qui participe à influencer les programmes de développement des nanotechnologies tout en évoluant avec eux. Parmi les livres souvent cités, on trouve l'ouvrage Drexler, ceux de Kurzweil, le roman de science fiction la Proie de Crichton...

Ces discours d'anticipation ne sont cependant pas confinés dans une littérature extérieure aux politiques scientifiques et technologiques. Ils contribuent à orienter les programmes de recherches. Laurent ou Vinck (2009) évoquent par exemple l'influence des discours de Mihail Roco, conseiller de la NSF et l'un des acteurs principaux de la Nanotechnology National Initiative. Celui-ci utilise "4 générations" pour décrire les programmes de soutien au développement des nanotechnologies qui sont reprises dans les rapports de la NNI et dans d'autres rapports ailleurs dans le monde (Laurent, 2010). Ces quatre étapes sont :

- la mise au point de structures inertes (nanomatériaux...) amorcée depuis le début des années 2000 ;

- la mise au point de nanostructures actives (vecteurs de médicaments, nanosystèmes, composant de nanoélectronique...) dont la mise au point de prototype industriel était prévue pour le milieu des années 2000 ;

- l'émergence de systèmes de nanosystèmes, c'est à dire la réalisation d'ensembles de nanosystèmes, prévue pour les années 2010 ;

- l'apparition de nanosystèmes moléculaires capables de "fonctions émergentes" (y compris la très Drexlérienne auto-réplication) annoncée dès 2015-2020.

Ainsi, pour Laurent (2010), cette utilisation des futurs dans les programmes de développement des nanotechnologies aux États-Unis mais aussi en Europe organise les applications existantes et à venir des nanotechnologies, et contribue à structurer la recherche par l'octroi de financements et la promotion d'organisations particulières.

Cette "opérationnalisation" du futur pour reprendre les termes de Laurent, s'opère aux États-Unis comme en Europe au travers de feuilles de route. Cet auteur montre comment la construction de ces documents opère une synthèse entre les attentes de scientifiques mais aussi d'industriels, des visions futuristes et des principes d'organisation de la recherche. Ces textes prônent ainsi l'interdisciplinarité voire la convergence entre les disciplines et les partenariats entre universités et entreprises.

Enfin, un dernier point que Laurent met en avant, concerne la prise en charge des "implications" des nanotechnologies, dont l'une des conséquences est l'enrôlement du public et des sciences sociales dans les programmes de politique scientifique et technologique. Cette intégration des sciences sociales et de la société ne se fait pas d'un seule manière. Laurent en distingue trois traductions différentes. La première, dont on trouve un exemple au travers des écrits de William Bainbridge et Mihail Roco dans leurs rapports sur les technologies convergentes, considère le développement des nanotechnologies comme quelque chose d'inéluctable. Les sciences sociales sont alors mobilisées pour optimiser un discours explicatif qui favoriserait l'acceptation des technologies.

Une deuxième façon d'intégrer le public et les sciences sociales identifiée par Laurent est celui de la co-construction. Les sciences et la société sont alors vues comme évoluant ensemble et les sciences sociales comme actrices de cette co-évolution en la rendant *"réflexive et délibérative"* .

Enfin, entre ces deux conceptions du rôle de la société dans le développements des nanotechnologies, Laurent positionne le discours majoritaire de l'innovation responsable *"vague et*

consensuel" (Laurent, 2010). Ce discours met l'accent sur les risques et les questionnements éthiques qu'il faudrait prendre en compte, afin de tirer un maximum de bénéfices des nanotechnologies. Le "grand public" devrait alors être informé et les chercheurs en sciences sociales devraient participer à organiser le dialogue.

Finalement, cette mobilisation du passé et du futur, cette promotion d'un mode particulier d'organisation de la recherche et cette prise en compte des conséquences des évolutions promises par les nanotechnologies notamment au travers de l'intégration du public et des sciences sociales dans les programmes de recherche, conduisent Laurent à parler des nanotechnologies comme d'une "politique scientifique globale".

1.3 La recherche en éducation interpelée par l'émergence des nanotechnologies

Si la société et les sciences sociales sont enrôlées dans les programmes de développement des nanotechnologies et si celles-ci peuvent être considérées comme une politique scientifique globale, qu'en est-il en matière d'éducation ?

Nous nous limiterons ici à deux remarques. La première est que certains promoteurs des nanotechnologies au sein de la NSF, en particulier Mihail Roco portent des discours sur la prise en charge des nanotechnologies dans l'enseignement universitaire mais aussi secondaire. Dans un article paru dans Nature Biotechnology en 2003, Roco écrit :

> *One of the "grand challenges" for nanotechnology is education, which is looming as the bottleneck for the development of nanotechnology.* (Roco, 2003, p. 1247)

Dans cet article, Roco propose alors un certain nombre de pistes, qui selon lui, pourraient permettre de relever ce défi et notamment l'introduction de concepts importants pour comprendre les phénomènes observés à l'échelle nanométrique à tous degrés du système éducatif. Il affirme ainsi dans ce texte :

> *"Such education and training must be introduced from kindergarten to continuing education, from scientist to non-technical audiences that may decide the use of technology and its funding."* (Roco, 2003, p. 1248)

Roco exhorte également à promouvoir l'interdisciplinarité dans les enseignements. Au niveau universitaire, il en appelle ainsi à un "renversement de la pyramide" (Roco, 2003). En d'autres termes, il souhaiterait que les étudiants soient sensibilisés dès leurs premiers pas à l'université à différentes disciplines.
Enfin, Roco plaide aussi pour que les partenariats avec le monde de recherche soit favorisés et pour que les nouveaux étudiants formés soient capables de s'adapter à une recherche largement internationalisée.

On retrouve donc dans ce discours des similitudes avec ce que Laurent décrit pour des programmes nanotechnologiques : l'accent sur l'interdisciplinarité, l'accent sur les partenariats entre monde la recherche et de l'industrie mais aussi l'idée d'enrôlement de la société toute entière en l'associant aux développements des nanotechnologies.

Ces discours de Roco sur l'introduction des nanotechnologies dans l'enseignement nous semblent avoir rencontré un certain écho dans la recherche en éducation. Ainsi, plusieurs chercheurs se réapproprient certaines de ces assertions dans leurs écrits comme autant d'arguments légitimant l'orientation de leurs recherches (Par exemple : Stevens *et al.*, 2009b; Bryan *et al.*, 2007; Madden *et al.*, 2007; Stevens *et al.*, 2007a,b; Lan, 2012; Blonder, 2010; Tomasik *et al.*, 2009). D'ailleurs, dans aucun des articles que nous avons consultés, nous n'avons trouvé de remise en question ou de discussion des prévisions du nombre de nanoscientifiques dont le monde aura besoin d'ici 2015, de la nécessité de promouvoir l'interdisciplinarité pour

enseigner les nanos, ou de l'urgence à ce que les nanotechnologies infiltrent les programmes du secondaire.

Enfin comme pour la recherche sur les nanotechnologies, des instruments sont construits pour permettre et structurer la mise en place d'action éducatives sur les nanotechnologies.

Au États-Unis, la NSF a fondé différents centres et réseaux, parmi lesquels le Nanotechnology Center for Learning and Teaching (NCLT) ou le Nanoscale Informal Science Education Network (NISE Network).

Des ateliers ont été organisés pour favoriser les échanges entre acteurs intéressés par la "nano-éducation". À titre d'exemples, on peut citer le 2008 NSEE Workshop à Washington [6], le Third Annual Faculty Workshop - "best practices" en nano-éducation qui s'est déroulé en mars 2008, à l'Alabama A&M University [7], le Second Annual NCLT Faculty Workshop on Nanoscale Science and Engineering Education s'est tenu en 2006, à la California Polytechnic State University [8]...

En mars 2009, une nouvelle revue à comité de lecture, le "Journal of Nano Education" a aussi sorti son premier numéro [9]. Les articles parus dans cette revue montrent une grande hétérogénéité de style. Il s'y côtoie des recherches en éducation avec mise à l'épreuve empirique et de simples compte-rendus d'innovation.

Enfin, aux États-Unis, plusieurs propositions de loi liées aux questions éducatives posées par les nanotechnologies ont été soumises au congrès sans toutefois être votées. Le "Nanotechnology in schools act" en 2007, puis le " Nanotechnology education act" en 2010, visaient en effet à établir un programme de financement pour aider les établissements d'enseignement secondaire et du supérieur à "améliorer" les programmes d'éducation sur les nanotechnologies [10].

Ainsi, comme d'autres sciences humaines et sociales, la recherche en éducation aux sciences est amenée, voire incitée par le biais de financements (distribués en particulier par la NSF), à prendre en compte l'apparition des nanotechnologies. Comme pour les autres sciences humaines et sociales, les réponses que les recherches en éducation aux sciences peuvent apporter à l'émergence des nanotechnologies ne sont pas uniques. Elles peuvent être diverses suivant les finalités assignées à ces travaux et suivant la manière de penser le rôle de la société et des sciences sociales dans le développement des nanotechnologies.

6. http ://www.nclt.us/gnseews2008/
7. http ://www.nclt.us/workshop/ws-faculty-mar08.shtml
8. http ://www.nclt.us/workshop/ws-faculty-aug06.shtml
9. Cette revue possède un comité honoraire constitué d'Eric Drexler, Mihail Roco et Harold Kroto, lauréat du prix Nobel pour les fullérènes.
10. Source : http ://www.govtrack.us/congress/bills/111/hr4502 / http ://www.govtrack.us/congress/bills/111/s3117 http ://www.govtrack.us/congress/bills/110/hr2436 / http ://www.govtrack.us/congress/bills/110/s1199 (dernières consultations le 10/11/2012).

Chapitre 2

L'introduction des nanosciences et des nanotechnologies dans l'enseignement secondaire : État de la recherche en didactique

L'émergence des nanosciences et des nanotechnologies suscite un certain nombre de questionnements à propos de leur introduction dans les programmes de l'enseignement secondaire et des modalités de leur enseignement au niveau universitaire. C'est à la première de ces questions qu'est consacré ce chapitre. L'objectif est d'y dresser un état des lieux de la recherche en didactique relative à l'introduction des nanosciences et des nanotechnologies dans l'enseignement secondaire.

Si aux États-unis notamment, sous l'impulsion des institutions fédérales et en particulier de la NSF, les initiatives pour enseigner les nanosciences et les nanotechnologies foisonnent et s'il existe une demande d'accompagnement de certaines innovations pour concevoir avec plus de discernement les curricula, les traces de recherches "nano-centrées" en didactique dans les revues à comité de lecture se font relativement rares. De ce fait, dans ce chapitre, nous avons pris le parti de dresser une cartographie des différentes directions dans laquelle la recherche a déjà fait quelques pas. Nous commencerons par exposer la méthodologie employée pour réaliser cette revue de littérature. Puis nous présenterons un panorama organisé des recherches en didactique des sciences sur l'enseignement des "nanos".

2.1 Méthodologie

2.1.1 Mots clés

Pour élaborer cet état de l'art, nous avons choisi de nous limiter aux mots-clés "nanoscience(s)", "nanotechnologie(s)" et "nanoscale". C'est un biais important car cela a écarté d'emblée des articles dont les auteurs ne se réclamaient pas explicitement des nanosciences ou des nanotechnologies, tout en traitant de phénomènes importants pour comprendre les comportements d'objets à l'échelle nanométrique (par exemple des articles sur la liaison chimique).

La constitution de notre corpus s'est articulée en deux temps. Entre mai et octobre 2009, nous avons réalisé une première analyse de la littérature de recherche en didactique. Nous avons alors procédé en trois étapes : le recueil des articles, la sélection des articles ainsi que l'élaboration progressive d'une problématique et d'une grille de lecture pour analyser le corpus retenu. C'est ce premier état de l'art (Hingant et Albe, 2010) qui nous a servi a positionner notre travail de thèse. Nous l'avons ensuite complété courant 2012, pour prendre en compte

les publications parues après 2009.

2.1.2 Recueil des articles

2.1.2.1 Prospection

En 2009, nous avons commencé par passer au crible la liste des revues suivantes : Aster, Didaskalia, Journal of Research in Science Teaching, Science Education, International Journal of Science Education, Research in Science Education, Studies in Science Education, Journal of Science Education and Technology, International Journal of Science and Mathematics Education, American Educational Research Journal, Review of Educational Research, Educational Evaluation and Policy Analysis, Review of Research in Education, Journal of curriculum Studies.

L'interrogation des moteurs de recherche propre à chacune de ces revues en 2009, nous a permis de recueillir un petit nombre d'articles (13 en tout), provenant exclusivement de journaux anglophones. Nous avons alors persévéré en explorant d'autres directions :

- utiliser d'autres moteurs de recherche [1] ;
- visiter des sites Internet du type "nanowerk" [2] qui abordent bon nombre de problèmes relatifs aux nanotechnologies et donc potentiellement ceux liés à leur enseignement [3] ;
- utiliser les bibliographies pour essayer de remonter à d'autres articles.

Parallèlement, nous avons aussi exploré quelques revues "praticiennes" qui exposent des propositions d'enseignements : l'American Journal of Physics, l'European Journal of Physics, Physics Education et le Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et Chimie. Cette tentative s'est révélée assez stérile, car mis à part quelques exceptions repérées dans l'American Journal of Physics, la majorité des articles n'avaient pas leur place dans le corpus de notre revue de littérature.

2.1.2.2 Délimitation du corpus

Cette première recension d'articles nous a permis de rassembler un certain nombre de documents dont plusieurs n'étaient pas des articles de recherche à proprement parler. Souvent, il s'agissait plutôt de compte-rendus de propositions d'enseignement fraîchement mis en œuvre et pourvus de cadres théoriques très sommaires. Nous les avons éliminés de notre corpus, et

1. Les moteurs de recherche que nous avons utilisés sont ceux que l'on trouve sur le site de EBSCO host : ERIC, E-Journals, Education Research Complete, Education Abstracts.

Pour mots-clés, nous avons retenu la combinaison de : Nano ou Nanoscience ou Nanotechnology ou Nanoscale, accompagné de Teaching ou Education.

Après avoir parcouru tous les résultats et lu systématiquement les résumés, nous avons alors sélectionné les quelques articles qui nous paraissaient en lien avec notre objet de recherche.

2. Les concepteurs de Nanowerk présentent ainsi le site :

> *"Nanowerk is committed to educate, inform and inspire about nanosciences and nanotechnologies. As the leading nanotechnology and nanosciences portal, nanowerk.com delivers useful, entertaining and cutting-edge information from all things nano."*

Ce site passe en revue les articles parus sur les nanotechnologies chaque semaine aussi bien les "business news" que les "research and general news". Il propose aussi aux utilisateurs certains services comme une base de données répertoriant les fournisseurs de quelques 2800 nanomatériaux (nanotubes, quantum dots...) ou une liste d'offres d'emplois dans l'industrie ou le milieu universitaire.

(source : http ://www.nanowerk.com/n_about_us.php ; dernière consultation le 10/11/2012)

3. La recherche complémentaire effectuée sur le site de Nanowerk s'est révélée fructueuse. Nous y avons découvert qu'une revue à comité de lecture abordant spécifiquement les questions d'enseignement des nanosciences et des nanotechnologies, le "Journal of Nano Education" venait d'être créée en 2009. En outre, nous avons cherché sur plusieurs autres sites (en particulier ceux du National Nanotechnology Infrastructure Network, du Nanotechnology Center for Learning and Training, de la National Science Teacher Association et du National Informal Science Education Network). Nous avons ainsi consulté le site "Nano Ed resource Portal". Là, nous avons recueillis divers articles présentés à la conférence de la NARST (National Association of Research in Science Teaching), directement en rapport avec les question de l'enseignement des nanotechnologies.

nous nous sommes également limités aux travaux s'intéressant à l'introduction des nanosciences et des nanotechnologies dans l'enseignement secondaire. Cela nous a permis d'obtenir un corpus plus cohérent.

Par ailleurs, bien que les développements des nanosciences et les nanotechnologies posent des questions à l'échelle planétaire et que par conséquent, beaucoup de pays se préoccupent de leur introduction dans les curricula, dans la première revue de littérature que nous avons effectuée en 2009 l'angle de vue donné était le reflet d'un point de vue essentiellement occidental, voire même en grande partie "États-unien".

2.1.2.3 Deuxième recension d'articles en 2012

En 2012, pour actualiser notre état de l'art, nous avons consulté les mêmes revues à comité de lecture qu'en 2009 [4] ainsi que la Revue Canadienne d'Enseignement des Sciences, des Mathématiques et des Technologies. De nouveau, pour recueillir des articles, nous avons utilisé les mots-clés "Nanoscale", "Nanotechnology(ie)" et "Nanoscience". Nous n'avons conservé que ceux traitant d'initiatives se rapportant directement à l'introduction des nanosciences et des nanotechnologies dans l'enseignement secondaire.

Nous avons alors noté une évolution dans la provenance des articles auxquels nous avons été confrontés lors de notre première revue de la littérature en juin 2009 et l'examen des publications parues entre 2009 et 2012. En juin 2009, les recherches que nous avions rencontrées étaient toutes américaines. En revanche, entre 2009 et 2012, la provenance géographique des articles sur l'introduction des nanosciences et des nanotechnologies dans l'enseignement secondaire s'est diversifiée. Des recherches ont ainsi été menées en Finlande (Kähkönen *et al.*, 2011), en Israël (Blonder, 2010; Blonder et Dinur, 2011), en France (Simonneaux *et al.*, 2012; Panissal *et al.*, 2010), à Taïwan (Lan, 2012). Dans leurs propositions pour une reconfiguration du curriculum scientifique Sud Coréen Choi *et al.* (2011) tiennent aussi compte des travaux sur l'identification des "idées-clés" des nanosciences et des nanotechnologies.

Ainsi, de la même manière qu'après le lancement de la National Nanotechnology Initiative de nombreux pays se sont engouffrés dans la brèche ouverte par les États-Unis pour lancer à leur tour des programmes de développement des nanotechnologies, les interrogations sur l'intégration des nanosciences et des nanotechnologies dans les curricula commencent à diffuser hors des USA.

Finalement, notre corpus proprement dit est constitué de 23 articles [5], d'un livre et de deux chapitres de livres. Nous avons également conservé cinq compte-rendus d'innovation assez détaillés présentant une évaluation des dispositifs mis en œuvre.

Tous ces documents retenus ont en commun deux choses : ils considèrent que la question de l'introduction des nanosciences et des nanotechnologies dans l'enseignement vaut la peine d'être examinée et ils cherchent à influencer, orienter ou modifier l'apprentissage et l'enseignement de ces questions.

La présentation de notre revue de littérature s'articulera en cinq parties. Nous présenterons successivement :

- les réflexions en amont de l'introduction des "nanos" dans l'enseignement secondaire,
- les travaux sur la conceptualisation de notions jugées importantes pour comprendre les nanosciences et nanotechnologies,
- l'étude de l'impact de l'utilisation de dispositifs pédagogiques particuliers (notamment des microscopes ou des interfaces haptiques) pour l'enseignement des "nanos",

4. Entre temps, Aster et Didaskalia ont disparu pour laisser place à une autre revue : "Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies".

5. Ces articles peuvent être issus de revues mais aussi d'actes de conférences comme la NARST (National Association for Research in Science Teaching) États-Uniennes.

– les travaux sur la formation des enseignants,
– et enfin, les travaux visant à outiller les élèves pour participer aux débats soulevés par les développements des nanotechnologies [6].

2.2 Les réflexions en amont du développement de propositions d'enseignement

2.2.1 Les motifs invoqués pour justifier la mise en place de ces enseignements

Beaucoup des auteurs d'articles de notre corpus reviennent sur les raisons qui, selon eux, motivent l'introduction des nanosciences et les nanotechnologies dans l'enseignement secondaire. Les justifications invoquées peuvent être scindées en deux grandes catégories d'arguments.

De nombreux auteurs (voir par exemple : Blonder, 2010; Schank *et al.*, 2007; Bryan *et al.*, 2007; Tomasik *et al.*, 2009; Healy, 2009; Stevens *et al.*, 2009b; Lan, 2012; Daly et Bryan, 2007; Hutchinson *et al.*, 2009; Delgado *et al.*, 2007) font référence aux discours sur la nécessité économique de former les nanoscientifiques dont nos sociétés vont avoir besoin incessamment sous peu. Ils mettent en avant qu'il en va de la compétitivité d'un pays de former des scientifiques dans le domaine des nanosciences et des nanotechnologies. Ces arguments sont fréquemment appuyés par des références aux estimations du nombre de créations d'emplois d'ici 2015 ou aux écrits de Mihail Roco et pas seulement dans des recherches États-Uniennes. À titre d'exemple, dans un article de Lan (2012) qui s'intéresse à l'enseignement nanosciences et des nanotechnologies à Taïwan, on trouve de multiples références à différents textes de Roco pour justifier l'importance de promouvoir l'enseignement de ces nouveaux contenus à différents niveaux du système éducatif. Des efforts sont d'ailleurs déployés non seulement pour former les enseignants, mais aussi pour leur faire développer une attitude positive à l'égard des nanotechnologies (Lan, 2012).

Ce type d'arguments d'ordre économique pour promouvoir l'intégration des nanotechnologies dans les curricula sont parfois évoqués seuls. Toutefois, il arrive qu'ils soient accompagnés du souci de faire acquérir à tous, indépendamment de leur carrière future, quelques notions sur les nanosciences et les nanotechnologies puisqu'il est dit que ces développements devraient impacter l'ensemble de nos sociétés. La seconde catégorie d'arguments mis en avant dans les textes de notre corpus pour motiver l'intérêt de l'introduction des "nanos" dans l'enseignement secondaire, reprend ainsi l'idée que la société dans son ensemble est concernée par les nanosciences et les nanotechnologies (par exemple : Hutchinson *et al.*, 2009; Schank *et al.*, 2007; Stevens *et al.*, 2009b,a; Jones *et al.*, 2007a). Il s'agit alors, pour certains auteurs, de développer des enseignements qui contribueront à permettre aux futurs citoyens de prendre des décisions informées dans un monde pénétré de technologies (Delgado *et al.*, 2007; Stevens *et al.*, 2009b; Jones *et al.*, 2007a) ou de développer une "citoyenneté active" (Simonneaux *et al.*, 2012). Certains articles reprennent aussi le concept de "Scientific Literacy"(Schank *et al.*, 2007; Kähkönen *et al.*, 2011; Stevens *et al.*, 2007a; Delgado *et al.*, 2007; Stevens *et al.*, 2009b) ou de "literacy about technoscience" (Simonneaux *et al.*, 2012), voire même introduisent la notion de "Nanoscale Science and Engineering literacy" (Stevens *et al.*, 2009a) ou de "nanoliteracy"(Blonder, 2010) sans toutefois vraiment discuter la signification de ces nouvelles expressions [7].

En outre, puisque selon ces arguments, tous les étudiants sont concernés, certains plaident

6. La présentation des travaux correspondant à cette dernière catégorie sera un peu plus détaillée que celle des autres recherches, afin de mieux éclairer ensuite la manière dont nous avons problématisé notre travail.

7. Pour une analyse critique de la multiplicité de définition de l'expression "scientific literacy" voir Albe (2011); Roberts (2007); Laugksch (2000).

en faveur d'une conception novatrice de ces enseignements afin qu'ils réussissent même dans les écoles où les méthodes traditionnelles ont échoué (Stevens *et al.*, 2009b). Cela implique d'adapter les activités au public concerné et de sélectionner avec soin des contenus adaptés :

> *"Knowing, however, that not all students will choose to further their studies of nanoscience past high school, what are the ideas that we want students to leave with ?"* (Schank *et al.*, 2007, p. 284)

Certains auteurs se sont d'ailleurs emparés de cette question et ont proposé une première réponse dans un livre intitulé "The Big Ideas of Nanoscale Science and Engineering" (Stevens *et al.*, 2009b) destiné aux enseignants du secondaire.

2.2.2 Big Ideas of Nanoscale Science and Engineering : Une réflexion sur les concepts à enseigner et la progression à suivre tout au long du secondaire

Pour favoriser l'introduction des nanosciences et des nanotechnologies dans les curricula états-uniens, la NSF a financé une série d'ateliers entre 2006 et 2007. L'objectif poursuivi était triple :

> *"(1) aboutir à un consensus sur des "idées clés" de nanoscience et de nano-ingénierie ;*
>
> *(2) trouver des solutions pour relever les défis posés par l'introduction en classe de la nanoscience et de la nanoingénierie émergentes ;*
>
> *(3) créer un document faisant consensus (ce livre) qui pourrait être utilisé par les éducateurs, les chercheurs et les personnes développant les curricula." (Stevens* et al.*, 2009b, p. 3)*[8]

Le premier atelier s'est déroulé en 2006 et a réuni des scientifiques, des chercheurs en éducation aux sciences, des représentants de la NSF et de l'American Association for the Advancement of Science (la liste de ces acteurs est présentée sur la figure 2.1). Leur objectif était d'identifier les "idées clés de nanoscience et de nano-ingénierie" pour les grade 7 à 12[9], l'expression "Big Ideas" désignant des concepts fondamentaux permettant aux élèves d'expliquer des phénomènes au sein des disciplines et par delà les frontières disciplinaires[10].

Suite à ce premier atelier, une autre session de travail a été organisée en août 2006 pour identifier les idées clés des nanosciences et des nanotechnologies appropriées au niveau uni-

8. Notre traduction.

9. Les élèves de grade 7 ont environ 12-13 ans. Quant à ceux de grade 12, ils sont âgés d'à peu près 17-18 ans.

10. Lors de ce premier atelier, les participants ont procédé en quatre étapes. Ils ont identifié et articulé les différents concepts et principes clés de nanoscience et de nano-ingénierie, tout en justifiant pourquoi ils avaient été reconnus comme tels. Six "idées-clés" ont ainsi émergé :
- la taille et l'échelle,
- les propriétés de la matière,
- la nature particulaire de la matière,
- les outils et la modélisation,
- les forces dominantes et l'auto-assemblage
- l'aspect technologie et société.

Chaque participant a ensuite explicité et clarifié la signification de chacune de ces idées-clés.

Des "learning goals" ont été associés à chacun des niveaux du 7ème au 12ème grade, pour chacune de ces idées clés. Ces objectifs d'apprentissage devaient par ailleurs explicitement favoriser les connexions interdisciplinaires. Leur développement s'est déroulé en deux temps :
- identifier les connaissances prérequises pour les atteindre
- puis spécifier les savoirs à acquérir et la manière dont les élèves devraient être capables d'utiliser leurs apprentissages.

Finalement, les participants ont procédé à un examen des "national standards" ainsi que des "benchmarks" pour identifier quels concepts de nanoscience et de nano-ingénierie y figuraient. Ils se sont alors efforcés de pointer les insuffisances de ces documents pour l'enseignement des nanosciences et des nanotechnologies.

Universités

University of Michigan

C. Delgado (Science education)
J. Krajcik (Science education)
C. Quintana (Technology ; Science education)
S. Stevens (Biophysical chemistry; Science education)
L. Sutherland (Literacy)
M. Yunker (Science Education)

SRI International - California

P. Schank (Technology; Science education)
N. Sabelli (Computational chemistry; Science education)
T. Sanford (Chemistry teacher; Educational research)
A. Rosenquist (Science education)

Comité d'organisation

B. Coppola (Chemistry ; Chemistry education)
R. Elgammal (Nano-engineering)

M. Berding (Nanoscience)

Northwestern University

D. Drane (Education and evaluation)
G. Light (Education and evaluation)
T. Mason (Material science)

Purdue University

G. Bodner (Chemistry)
N. Giordano (Physics)

San Jose State University

W.R. Chung (Material science)
M. Scharberg (Chemistry education)

Auburn University

S.R. Chaudhury (Physics; Science education)

Cornell University

C. Batt (Nanobiotechnology)

University of Louisville

T. Tretter (Size and scale)

Stanford University

K. Cole (Center for probing the nanoscale)
M. Goldman (Chemistry)
D. Smithenry (Chemistry; Science education)

Foothill-DeAnza Community College

R. Cormia (Engineering)

University of Illinois at Urbana-Champaign

E. Jakobsson (Nanobiotechnology)

Penn State

S. Fonash (Engineering ; director NSF Nanotechnology Advanced Technology Education Center)

Beloit College

G. Lisensky (Chemistry)

University of Illinois at Chicago

C. Lilley (Engineering)

Musées de sciences

Oregon Museum of Science and Industry

J. Gardner (Informal education)

Exploratorium (San Francisco)

S. Hsi (NISE; Informal education)
J. Johnson (Informal education)
B. Kluger-Bell (Informal education)

Autres institutions de recherche sur l'éducation

Concord Consortium

R. Tinker (Computational chemistry)

Mid-continent Research for Education and Learning

C. Morrow (Nanoleap)

BSCS (Biological Sciences Curriculum Study)

S. Getty (Science curriculum development)

Autres institutions de recherche scientifique

Boeing Corporations

V. Dang (Engineering)

NASA

J. Trent (Nanobiotechnology)

NSF

R. Gibbs (Program officer)
C. Stearns (NSF retired program officer)

American Association for the Advancement of Science

J.E. Roseman (National Standards)

FIGURE 2.1 – Acteurs participants au premier atelier “Nanoscience Learning Goal Workshop” (En bleu figurent ceux qui effectuent leur recherche en éducation aux sciences et en gris les représentants de la NSF).

versitaire, du grade 13 au grade 16 [11]. Le produit de ces deux ateliers a été ensuite examiné et discuté à la rencontre du NCLT en novembre 2006. Les participants ont alors harmonisé ces deux ensembles d'idées-clés.

Une synthèse a ensuite été publiée par la National Science Teacher Association sous forme d'un livre intitulé "The Big Ideas of Nanoscale Science and Engineering" (Stevens *et al.*, 2009b). Partant de deux postulats, celui de l'échec présumé du système scolaire américain et celui de l'urgence d'introduire les nanos dans le secondaire pour préparer les élèves et étudiants à vivre dans une société pénétrée de nanotechnologies, ce document résume les réponses formulées au travers de ces ateliers aux questions :

Quels sont les objets d'étude les plus importants ?

Lesquels peuvent être intégrés dans le curriculum ?

À quel niveau est-ce approprié d'introduire tel ou tel concept ?

Comment construire des séquences pédagogiques telles que l'enchaînement de l'introduction des concepts soit logique ?

Comment ces idées sont-elles connectées à celles déjà présentes dans le curriculum traditionnel ?

Quelles idées importantes de nanosciences et de nano-ingénierie peuvent être considérées comme prioritaires sur certains concepts "plus traditionnels" de science et pourquoi ? (Stevens *et al.*, 2009b)

Finalement, pour l'enseignement secondaire, les participants se sont entendus sur un ensemble de neufs idées-clés. Il s'agit de :

1. la taille et les échelles (Size and Scale)
2. la structure de la matière (Structure of Matter)
3. les forces et interactions (Forces and Interactions)
4. les effets quantiques (Quantum Effects)
5. les propriétés dépendantes de la taille (Size-Dependent Properties)
6. l'auto-assemblage (Self-Assembly)
7. les outils et l'instrumentation (Tools and Instrumentation)
8. les modèles et la simulation (Models and Simulation)
9. l'aspect science, technologie et société (Science, Technology, and Society).

Ces idées clés et leurs objectifs d'apprentissage correspondants semblent avoir reçu un certain écho dans la communauté des chercheurs en didactique, en particulier aux USA. Ainsi, plusieurs articles (Par exemple : Schank *et al.*, 2007; Stevens *et al.*, 2009a; Daly et Bryan, 2010; Choi *et al.*, 2011; Taylor et Jones, 2009; Magana *et al.*, 2012; Kähkönen *et al.*, 2011) ou résumés d'interventions lors des conférences de la NARST en 2007, 2008 et 2009 y font référence.

2.2.3 Interdisciplinarité et prise en compte des contraintes du système éducatif

Au travers du processus de définition des idées-clés, les participants aux ateliers de la NSF ont prêté une attention particulière aux trois points suivants :

- Prendre en compte l'interdisciplinarité intrinsèque de la nanoscience et de la nano-ingénierie [12] ;
- Tenir compte des contraintes propres au système éducatif états-unien et notamment des standards existants ;

11. Ce qui correspond aux quatre premières années d'enseignement universitaire.
12. Nous reprenons ici la terminologie employée par Stevens *et al.* (2009b)

– Rassembler une équipe interdisciplinaire de scientifiques et de chercheurs en éducation pour mettre en place des curricula permettant d'aborder de façon pertinente les nanotechnologies dans l'enseignement secondaire, en tenant compte du niveau exigé dans ces classes, du matériel disponible, et sans omettre d'aspect scientifique majeur ;

Ces trois éléments se retrouvent dans d'autres textes que nous avons consultés.

L'interdisciplinarité des nanosciences et des nanotechnologies est ainsi mise en avant, tout comme l'importance de tenir compte des contraintes du système éducatif par exemple par Bryan *et al.* (2007). Ces auteurs étudient de plus un programme de formation d'enseignants pour lequel ils indiquent qu'il a été mis en place grâce au concours d'une équipe interdisciplinaire de scientifiques, de chercheurs en éducation, de "spécialistes de l'évaluation" et d'un enseignant de lycée.

Ce souci de réunir une équipe "interdisciplinaire" pour concevoir des enseignements sur les "nanos" se retrouve aussi dans un article du Journal of Geoscience Education. 12 auteurs (Madden *et al.*, 2007) y présentent une expérience de développement d'un curriculum mis sur pied par des chercheurs des départements de Géosciences et de "Teaching and Learning" de l'université Virginia Tech ainsi que des enseignants. L'objectif de leur article est d'ailleurs précisément de montrer que le partenariat "scientific/educator" a été essentiel pour la réalisation de leur programme.

L'importance du croisement des expertises est également soulignée par Sweeney (2009) dans le texte de présentation du Journal of Nano Education. Dans l'article de cinq pages qui sert d'introduction au premier numéro de cette revue, il souligne la volonté de ce journal de ce poser comme interdisciplinaire en publiant des articles d'auteurs

> *"with "technical laboratory research" and "education/pedagogy research" background" (Sweeney, 2009, p. 2).*

Enfin la prise en compte de l'interdisciplinarité et des contraintes du système éducatifs est aussi discutée par Schank *et al.* (2007). Ces auteurs vont au reste un cran plus loin que ce que l'on peut lire dans l'ouvrage présentant les idées-clés de nanoscience et de nano-ingénierie. Ils considèrent ainsi que les nanosciences [13] peuvent être le catalyseur d'une vraie réforme renouvelant en profondeur le système d'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies, mis à mal par les scores obtenus par les élèves de high school états-uniens, dans l'évaluation TIMSS [14]. Pour enseigner et comprendre les nanosciences, il est en effet nécessaire selon ces auteurs, de promouvoir un enseignement réellement interdisciplinaire et de décloisonner les cours traditionnels de chaque discipline [15]. Il leur semble aussi indispensable de bousculer des standards inadaptés qui englobent peu ou prou, certaines idées charnières de nanoscience.

Par conséquent, dans l'immédiat, Schank *et al.* (2007) avancent des suggestions pour permettre l'interdisciplinarité :

> *Because most science education programs do not have an interdisciplinary component, connexions between the disciplines need to be made explicit. These connexions could take on a variety of forms, including weaving of nanoscience concepts and applications into existing curricula, creating a capstone-type course in the senior year of high school, devoting time at the end of each year to making connexions between disciplines, and identifying opportunities for high school students to take enrichment courses at a nearby university if such courses are not offered at the high school.* (Schank *et al.*, 2007, p. 282)

13. La "nanoscale science" pour reprendre la terminologie qu'ils emploient.
14. Trends in International Mathematics and Science Studies
15. On peut noter ici certaines similitudes entre ce plaidoyer et celui de Mihail Roco dans l'article de Nature Biotechnology (Roco, 2003) que nous avons mentionné dans ce manuscrit, au chapitre précédent.

Ils proposent aussi de réunir des scientifiques, des enseignants et des décideurs, rejoignant en cela les auteurs préconisant la mise en place d'équipes "interdisciplinaires".

Enfin, à plus long terme, ces auteurs plaident pour qu'ait lieu une restructuration complète de l'enseignement des sciences aux États-Unis.

2.2.4 Discussion

Finalement, plusieurs analogies peuvent être établies entre la manière dont sont pensés les développements des nanosciences et des nanotechnologies et la façon dont est envisagée leur introduction dans l'enseignement secondaire.

Ainsi, de la même manière que les programmes de recherche prônent une organisation particulière de l'activité scientifique au travers du développement des nanosciences et des nanotechnologies, certains discours en éducation appellent à réformer l'enseignement des sciences au travers de la prise en charge des nanosciences dans le secondaire.

On peut par ailleurs dresser certains parallèles entre le contenu des discours portés sur le développements des "nanos" en général et ceux qu'on peut rencontrer sur leur introduction dans le monde scolaire. L'accent mis sur l'importance de l'interdisciplinarité pour développer les nanosciences et les nanotechnologies se retrouve au moment où il est question de les introduire dans l'enseignement. L'acuité de la compétition économique justifiant la mise en route de programmes de recherche sur les nanotechnologies est parfois invoqué pour justifier l'introduction de ces nouveaux contenus dans les curricula. Ou encore, le potentiel de transformation de nos sociétés justifiant l'intégration du public et des sciences humaines et sociales aux programmes nanotechnologiques est aussi mis en avant pour souligner l'importance de la prise en charge des "nanos" par l'école.

Enfin, alors que des instruments tels que les feuilles de route permettent "d'opérationnaliser" des visions du futur en structurant l'organisation des recherches sur les nanotechnologies, les "idées-clés de la nanoscience et de la nano-ingénierie" nous semblent aussi assimilables à un outil contribuant à opérationnaliser l'introduction des nanosciences et des nanotechnologies le monde scolaire.

2.3 Des travaux sur les concepts pour développer avec plus de pertinence les curricula

Outre ces réflexions sur les objets à enseigner et sur les modalités de l'introduction des "nanos" dans l'enseignement secondaire, certains travaux s'intéressent au développement cognitif des élèves. Ces recherches traitent ainsi de la manière dont les élèves conceptualisent des notions se rapportant à des idées-clés "de nanoscience et de nanoingénierie".

Nous nous sommes limités ici à des recherches se focalisant sur les tailles et les échelles (size and scale), à des études sur la nature de la matière ou encore sur les propriétés dépendant de la taille (size-dependent properties). Cette circonscription de notre corpus est due à notre choix de mots-clés puisque nous n'avons interrogé les moteurs de recherches qu'avec les mots-clés "nanoscale", "nanotechnology", "nanoscience".

2.3.1 Taille et échelles (Size and scale)

Six articles traitent de la façon dont les individus appréhendent les tailles et les échelles. Leurs auteurs, présentés sur la figure 2.2, mettent en avant l'importance de ces recherches en soulignant leur intérêt dans un contexte marqué par le développement des nanosciences et des nanotechnologies et en rappelant que cette thématique fait partie de celles répertoriées par l'American Association for the Advancement of Science (par exemple American Association for the Advancement of Science, 1993) parmi les thèmes majeurs permettant de tisser des

FIGURE 2.2 – Les auteurs des recherches s'intéressant au développement cognitif des élèves et leur université d'appartenance.
(En bleu, figurent ceux qui ont participé à l'élaboration des "Big Ideas" ; Les carrés de couleur indiquent les auteurs qui ont publiés ensemble)

liens entre les différentes disciplines scientifiques (Tretter *et al.*, 2006b,a; Magana *et al.*, 2012; Delgado *et al.*, 2007; Jones et Taylor, 2009; Jones *et al.*, 2007a).

Dans une recherche empirique empruntant son cadre théorique à la psychologie et aux sciences cognitives, Tretter *et al.* (2006b) se sont intéressés à la précision des conceptions d'étudiants sur les échelles spatiales et aux stratégies développées par les experts pour affiner cette précision.

215 personnes ont pris part à cette étude où les chercheurs ont procédé par questionnaires et entretiens. Les participants appartiennent à cinq groupes : des élèves en 5ème grade, de 7ème et de 9ème grade étudiant tous dans un même "school district", des élèves de 12ème grade issus d'un lycée sélectif, et des étudiants de doctorat de sciences ou d'éducation aux sciences, qu'ils considèrent comme des "experts".

Les résultats de cette recherche montrent une assymétrie dans les conceptions à grande et petite échelle. À des échelles proches de l'échelle humaine, les résultats de tous les groupes sont bons. Aux grandes échelles, la précision des conceptions décline doucement pour tous les groupes, au fur et à mesure du défilement des ordres de grandeur. En revanche, pour les petites échelles, cette précision se maintient à un niveau élevé, jusqu'à ce que soient atteintes des dimensions associées à des objets invisibles à l'œil nu. À ce moment, la chute est brutale, quelque soit le groupe, comme s'il existait un seuil en dessous duquel la notion de petitesse devenait indifférenciée. Cette discontinuité suggère, selon les auteurs, une difficulté à franchir mentalement une barrière. Par ailleurs, la plage spatiale sur laquelle les plus jeunes de l'échantillon possèdent des conceptions précises est plus restreinte que celle des autres, et les "experts" étaient plus précis pour évaluer la taille d'objets nanométriques que micrométriques. De plus, hormis cette dernière catégorie de la population étudiée, les participants avaient tendance à proposer des objets trop petits pour les grandes échelles et trop grands pour les très petites.

Ces résultats obtenus par Tretter *et al.* (2006b) peuvent être rapprochés de ce qu'ont observé Magana *et al.* (2012) et Jones *et al.* (2007a). Dans une recherche plus récente par entretiens menée auprès de 244 étudiants en première année d'université, Magana *et al.* (2012) ont en effet montré que les participants avaient des difficultés pour évaluer les tailles absolues des objets invisibles à l'œil nu ou au contraire des très gros objets.

Pour leur part, Jones *et al.* (2007a) ont constaté dans une recherche par questionnaires et entretiens mobilisant 22 élèves de middle school que ceux-ci avaient des difficultés pour appréhender les tailles très éloignées des dimensions humaines. L'analyse des entretiens a montré que les petites échelles leur semblaient de plus plus difficiles à conceptualiser. Cette recherche explorait par ailleurs l'intérêt du film "Powers of Ten" largement utilisé aux États-Unis pour enseigner les échelles spatiales et les puissances de dix [16]. Ici, il est apparu que les élèves manifestaient un intérêt prononcé pour les aspects du film consacrés aux échelles extrêmes dont les élèves ne pouvaient avoir d'expérience directe.

Cette difficulté à appréhender les petites échelles et à hiérarchiser selon leur taille tout ce qui est invisible à l'œil nu converge avec les résultats présentés dans un autre article de Tretter *et al.* (2006a). Dans cette publication portant sur des données récoltées auprès du même échantillon que Tretter *et al.* (2006b), Tretter *et al.* (2006a) ont par ailleurs noté l'importance de l'expérience directe pour conceptualiser ces échelles, qui peut être holistique ou au contraire séquentielle, visuelle et/ou kinésthésique.

Cette importance des expériences directes dans l'appréhension des échelles a été de nouveau mise en évidence par Taylor et Jones (2009) dans une recherche par entretiens semi-directifs où 50 professionnels ont été interrogés pour documenter comment la compréhension

16. Le lecteur intéressé peut visionner ce film en ligne, par exemple à l'adresse :
http ://www.youtube.com/watch ?v=0fKBhvDjuy0
(consulté le 24/02/2013)

des échelles se développe depuis l'enfance jusqu'à l'âge adulte. Il est ressorti des interviews le fait que plusieurs participants à cette recherche mentionnaient l'importance de certaines expériences scolaires (convertir une grandeur en utilisant une autre échelle, utiliser certains instruments tels des microscopes ou des téléscopes) ou extra-scolaire (construire des objets, établir et utiliser des cartes...) dans le processus d'apprentissage des échelles.

Par ailleurs, plusieurs recherches ont mis en évidence l'importance de points de repère pour concevoir les différentes échelles. Au travers d'entretiens, Tretter *et al.* (2006a) ont ainsi dégagé que les sujets participant à l'étude utilisaient des objets ou des distances comme auxiliaires pour conceptualiser les différentes échelles.

Tretter *et al.* (2006b) ont eux montré que les élèves 7th et 9th grades semblaient préférer se rapporter aux dimensions de leur corps, alors que ceux d'elementary school, de 12th grade et les doctorants utilisaient le mètre comme étalon de référence pour se repérer. Les plus jeunes indiquaient préférer le mètre parce que la taille de leur corps évoluait, les élèves de 12th grade et les étudiants en thèse, parce que cette unité leur était familière.

Cette stratégie pour conceptualiser les échelles consistant à utiliser des points de repère a de nouveau été identifiée dans la recherche menée par Taylor et Jones (2009) par entretiens auprès de 50 professionnels. Les participants à cette recherche ont en effet affirmé mobiliser de façon routinière le corps comme étalon de mesure ou bien un ou plusieurs points d'ancrage (anchor points) ou tailles de référence.

Enfin, Tretter *et al.* (2006b) et Tretter *et al.* (2006a) ont également mis à jour des stratégies utilisées par les doctorants pour conceptualiser les échelles extrêmes. Ils ont ainsi mis en évidence que les "experts" affirmaient "faire un saut mental dans un monde différent" pour comprendre les échelles. Ce monde est souvent caractérisé par la référence à un instrument (microscope électronique, AFM...) ou par une unité adaptée ("unitizing") et la connexion abstraite entre les différentes échelles semble assurée par les mathématiques.

Ce résultat obtenu par Tretter *et al.* (2006b) et Tretter *et al.* (2006a) peut par ailleurs être confronté aux conclusions de Magana *et al.* (2012). Ces chercheurs de l'université de Purdue ont mené une recherche auprès de 244 participants en première année d'université qui devaient accomplir plusieurs tests. Ils ont obtenus des résultats laissant penser que la capacité à identifier des relations de proportionnalité est un processus cognitif important dans la compréhension des tailles et des échelles. Selon eux, ceci peut expliquer cette stratégie d'utilisation des unités ("unitizing") par les "experts" repérée par Tretter *et al.* (2006b).

Certains travaux se sont aussi intéressés aux connexions que les étudiants établissent entre différents concepts importants dans la compréhension des tailles et des échelles (Magana *et al.*, 2012; Delgado *et al.*, 2007).

Delgado *et al.* (2007) ont ainsi travaillé à évaluer dans quelle mesure et dans quel ordre les étudiants arrivaient à établir des liens entre les quatre aspects suivants relatifs à la taille : classer, grouper des éléments, déterminer combien de fois un objet est plus grand qu'un autre et déterminer la taille absolue [17]. Dans une recherche empirique regroupant 42 élèves, garçons et filles scolarisés entre le 7ème et le 11ème grade dans des middle et high school publiques d'une petite ville industrielle du Midwest et 6 undergraduates de la Midwestern University, ces auteurs ont mené des entretiens individuels au cours desquels les élèves devaient réaliser des tests.

Ils ont trouvé qu'il existait une grande variabilité dans le niveau de connexion entre les connaissances pour les élèves de middle et high school participant à la recherche.

Les résultats montrent de plus que la connexion la plus fréquemment établie est celle

17. On retrouve les 4 opérations effectuées par les participants des recherches publiées par Tretter *et al.* (2006b) et Tretter *et al.* (2006a) .

entre le classement et le groupement (83 % des étudiants interrogés), talonné par celle entre le classement et le nombre de fois plus grand (75 % de l'échantillon font cette connexion). Par ailleurs, 64 % des étudiants ont réussi, au cours de cette recherche, à donner des réponses cohérentes entre les tests visant à classer et à attribuer une taille absolue. Enfin, environ deux tiers des étudiants n'ont pas perçu une connexion logique et nécessaire entre les tailles de deux objets et le facteur multiplicatif séparant leurs dimensions et seulement 13% d'entre eux ont apporté des réponses cohérentes entre elles à ces deux tests.

À partir de ces résultats et en tenant compte du type de connexions établies individuellement par chaque élève, les auteurs ont proposé l'ordre d'établissement des connexions au cours de l'apprentissage ("learning progression") suivant :

1. classer / nombre de fois plus grand puis classer / grouper ou vice et versa
2. classer / taille absolue
3. compréhension conceptuelle qu'il existe un lien logique nécessaire entre taille absolue et nombre de fois plus grand
4. réponse cohérente entre taille absolue et nombre de fois plus grand.

Par ailleurs, si le genre, l'appartenance ethnique et la classe de scolarisation des élèves ne sont pas apparus corrélés aux réponses données, la réussite en classe (évaluée de façon globale par leur enseignant de science) est apparue comme un facteur discriminant. Enfin, les auteurs insistent sur le fait que cette recherche n'a pas exploré l'influence de connaissances dans l'établissement de connexions (comme par exemple qu'une mitochondrie fait partie d'une cellule et donc que la mitochondrie doit être plus petite que la cellule). Ils estiment qu'il serait bienvenu de défricher ce champ de recherche.

Dans une autre recherche plus récente, Magana *et al.* (2012) ont eux proposé un cadre pour caractériser et échafauder les connaissances sur les tailles et les échelles ("Size and Scale Cognition Framework"). Ce cadre, construit à partir d'une revue de la littérature en éducation et des travaux en psychologie du développement est synthétisé dans le tableau 2.1. Il présente certaines similitudes avec la progression d'apprentissage proposée par Delgado *et al.* (2007). Magana *et al.* (2012) soulignent que ce qui l'en distingue, c'est que ce cadre suggère que la compréhension de la proportionnalité est nécessaire à la détermination de tailles absolues. Ces auteurs insistent par ailleurs sur l'importance ne pas considérer les concepts liés à la compréhension des tailles et des échelles isolément, mais d'adopter une approche systémique où les concepts sont en interrelation.

Dans leur recherche, Magana *et al.* (2012) mettent donc l'accent sur l'importance de la proportionnalité pour conceptualiser les tailles et les échelles. Les liens entre la compréhension de la proportionnalité et l'appréhension de relations entre surface et volume a donné lieu à d'autres recherches.

2.3.2 Les propriétés dépendantes de la taille (Size-dependent properties)

La conceptualisation de propriétés fonction de la taille des objets a fait l'objet de deux publications de chercheurs de la North Carolina State University Taylor et Jones (2009, 2012).

Dans une étude exploratoire, ces auteurs ont cherché à déterminer s'il existait une corrélation entre l'acquisition de la notion de proportionnalité (proportional reasoning ability) et la compréhension des relations entre surface et volume (Taylor et Jones, 2009). Elles soulignent en effet le rôle de ces relations pour rendre compte des comportements de certains nano-objets. 19 élèves âgés d'entre 11 et 13 ans ont participé à cette recherche alors qu'ils prenaient part à un camp d'été s'étalant sur cinq jours. Leur capacité à utiliser des relations de proportionnalité a été évaluée au moyen d'un instrument pré-existant composé de dix questions ouvertes. Leur compréhension des relations entre surface et volume a par ailleurs été sondée grâce à

Niveau	Processus cognitif
Conception par catégorie qualitative - taille	Généralisation (capacité à regrouper les objets par catégories)
Conception par relation qualitative - taille	Discrimination (capacité à classer les objets les uns par rapport aux autres)
Conception proportionnelle qualitative - taille	Raisonnement proportionnel logique (comparaison des relations de taille entre objets par exemple : le rapport entre la taille d'un humain et celle d'une fourmi est proche du rapport entre la taille d'une bactérie et la taille du diamètre d'un brin d'ADN)
Conception proportionnelle quantitative - échelle	Raisonnement proportionnel numérique (comparaison chiffrée de taille des objets : tel objet est x fois plus grand qu'un autre)
Conception absolue quantitative - échelle	Raisonnement mathématique (taille absolue d'un objet, quantifié par une mesure)

Table 2.1 – Les différents niveaux du "Size and Scale Cognition Framework" et les opérations cognitives sous-tendant chaque niveau (Adapté de Magana *et al.* (2012, p. 7))

des pré et post tests développés spécialement. Chacun de ces tests comprenait des questions à choix multiples, des problèmes à résoudre, des diagrammes à remplir et des justifications à fournir pour certaines réponses.

D'après ces auteurs, l'analyse des données montre l'existence d'une corrélation significative entre la maîtrise de la notion de proportionnalité et le degré de réussite aux tests sur les relations entre surface et volume. Les auteurs s'interrogent alors au moment de discuter des résultats de leur recherche :

> *"What developmental level is necessary for students to understand fully the relationship between surface area and volume ?*
>
> *What type of background knowledge is necessary for students to understand surface area to volume relationships and how does it affect the sequence of science instruction ?*
>
> *What other constructs (such as visual spatial skills may be involved in understanding of scale applications such as limits to size and surface area to volume relationships ?"* (Taylor et Jones, 2009, p. 1237)

Ces deux premières questions font écho aux préoccupations de Delgado *et al.* (2007) qui s'efforcent de développer une progression d'apprentissage. La dernière a elle donné lieu à une autre recherche (Taylor et Jones, 2012). Au travers de cette étude portant sur 35 élèves de middle school, 45 de high school et 37 enseignants de biologie, Taylor et Jones ont proposé aux participants de réaliser trois tests : L'un servait à mesurer le développement cognitif des individus en testant leur capacités à mener différents types de raisonnements abstraits. D'autres questions cherchaient à mesurer leurs capacités de visualisation dans l'espace. Enfin, les participants répondaient à une version raffinée du test sondant la compréhension des relations entre surface et volume déjà utilisé dans leur recherche précédente (Taylor et Jones, 2009).

Les résultats de cette étude montrent une corrélation significative entre les résultats du test sur les capacités de raisonnement et celui sur les applications des relations entre surface et

volume. Cette nouvelle recherche semble donc corroborer les résultats précédemment obtenus (Taylor et Jones, 2009) en les étendant aux étudiants plus âgés et aux enseignants de biologie. Compte tenu de ce résultat, Taylor et Jones affirment qu'il pourrait être utile d'aborder certaines notions telles que les propriétés d'adhérence des objets nanométriques ou les échanges gazeux dans les cellules seulement après que les élèves aient atteint une capacité suffisante à mener des raisonnements abstraits.

Par ailleurs, l'analyse des données pour les élèves de middle school indique qu'il existe une corrélation significative entre leurs capacités de vision dans l'espace et leur compréhension des relations entre surface et volume. Les résultats des tests de vision dans l'espace de ces élèves étaient aussi corrélés à ceux du test sondant leur capacités à mener des raisonnements logiques. Cependant, Taylor et Jones indiquent que de plus amples recherches sont nécessaires pour mieux comprendre comment ce résultat peut informer la construction du curriculum scientifique.

Enfin, en utilisant une régression linéaire multiple, ces auteurs concluent que les capacités de visualisation dans l'espace pourraient être un possible prédicteur des capacités à comprendre les relations entre surface et volume pour les élèves de middle school. Ce même genre d'analyse indique également que pour les élèves de high school et les enseignants de biologie, les capacités à mener des raisonnements logiques sont un indicateur potentiel pour prévoir leur capacité à appliquer des relations entre surface et volume.

2.3.3 La compréhension de la nature de la matière (Nature of matter)

D'autres recherches ont été menées par des chercheurs de l'université du Michigan pour documenter comment les élèves élaborent une compréhension de la "nature de la matière". Sous cette expression, Stevens *et al.* (2009a) indiquent qu'ils regroupent la structure de la matière, la manière dont elle se comporte, interagit, ses propriétés et ce qui détermine ses propriétés.

Dans cette recherche, les chercheurs ont suivi une approche "design-based" (Stevens *et al.*, 2007a, 2009a) pour élaborer une progression d'apprentissage hypothétique ("hypothetical learning progression") décrivant comment les étudiants construisent des modèles sur la structure atomique et les forces électriques qui gouvernent les interactions moléculaires aux différentes échelles.

Pour construire cette progression d'apprentissage hypothétique, ils ont d'abord pris appui sur la littérature de recherche, sur les documents définissant les standards nationaux (American Association for the Advancement of Science, 1993; National Research Council, 1996) et sur les conclusions des ateliers de la NSF définissant les idées-clés de la nanoscience et de la nano-ingénierie(Stevens *et al.*, 2009b). Ils ont ainsi élaboré deux constructions portant respectivement sur la structure de la matière et sur les interactions électriques.

Ces auteurs ont de plus mené une recherche pour construire une "progression empirique". Pour cela, ils ont procédé par entretiens avec 37 élèves de middle et high school d'une école publique, 31 élèves d'une école privée et 5 étudiants "undergraduates" (science major et non-science major) de l'Université de Midwestern ayant suivi au moins une année de chimie au lycée. À partir de ces données, ils ont alors établi deux progressions d'apprentissage multidimensionnelles, l'une sur la structure atomique et l'autres sur les forces électriques qu'ils ont comparées avec leurs progressions d'apprentissage hypothétiques. La confrontation de cette progression empirique avec leur construction issue de la littérature a ainsi permis de tester et de raffiner la progression d'apprentissage hypothétique au centre de leur recherche.

Finalement, à gros traits, la progression d'apprentissage hypothétique pour la structure atomique à laquelle ils ont abouti comprend quatre niveaux :

- les atomes vus comme des sphères
- les atomes composés de charges électriques

- les différents modèles d'atomes :
  - le modèle de Bohr
  - le modèle du nuage électronique
- les niveaux d'énergie et le principe de Pauli.

Quant à la progression d'apprentissage hypothétique pour les forces électriques, elle s'articule autour de cinq niveaux principaux :

- une force non spécifique gouverne les interactions
- les mécanismes son spécifiés (attractions ; répulsions)
- les interactions sont gouvernées par des forces électriques
- il existe un continuum de forces électriques
- l'environnement influe sur les interactions.

Stevens *et al.* (2009a) ont aussi souligné des relations entre ces deux progressions d'apprentissage, aboutissant ainsi à une progression d'apprentissage hypothétique multidimensionnelle.

L'analyse du contenu des entretiens a mis en évidence que les élèves étaient pour beaucoup à des niveaux bas dans ces progressions et qu'ils ne percevaient pas certaines connexions importantes pour la compréhension conceptuelle. Dans un article sur cette recherche proposé à la NARST en 2007, Stevens *et al.* (2007a) indiquent aussi avoir observé des discontinuités dans les "learning progressions" des étudiants.

Stevens *et al.* (2009a) discutent alors des stratégies d'enseignement qui pourraient favoriser l'établissement de connexions entre les concepts. Pour ces auteurs, cette recherche montre notamment qu'il est improductif d'introduire trop précocement beaucoup de détails sur la structure atomique. En effet, selon eux, les nouvelles connaissances apportées doivent avoir du sens pour les élèves pour être proprement intégrées. Par conséquent, l'introduction de nouvelles informations ne devrait avoir lieu que lorsqu'un besoin spécifique se fait sentir pour expliquer un phénomène ou un concept. Ces chercheurs soulignent aussi que l'introduction de la classification périodique peut alimenter le besoin pour les élèves de développer un modèle atomique plus élaboré. Ils insistent de plus à plusieurs reprises sur l'importance des modèles, sur la nécessité d'en pointer les limites et sur l'intérêt de discuter des raisons qui ont conduit les scientifiques à en introduire de nouveaux. Enfin, ils soulignent l'importance d'aider les élèves à établir des connexions entre les modèles. Pour eux, cette nécessité est exacerbée par la nature interdisciplinaire des nanosciences [18]. Ils appellent alors à développer des ressources pédagogiques permettant cette approche intégrative.

2.3.4 Discussion

Finalement, tous ces articles explorent la conceptualisation de notions qui sont considérées comme centrales pour échafauder une compréhension de phénomènes se produisant à l'échelle nanométrique. Ces notions ne sont cependant pas spécifiques aux nanosciences et aux nanotechnologies et ces recherches apportent un éclairage sur des concepts enseignés depuis déjà des décennies.

On peut dresser ici un parallèle avec ce qui est pointé dans le champ scientifique. Il est parfois mis en avant que certains scientifiques mettent l'accent sur l'aspect "nano" de leurs recherches pour bénéficier des fonds alloués à spécifiquement ces recherches (Joly *et al.*, 2005). De manière analogue en éducation aux sciences, il se pourrait que certaines recherches sur les concepts soient soudainement catégorisées nano tout en étant le prolongement de préoccupations plus anciennes pour bénéficier de nouveaux financements.

Par ailleurs, leurs auteurs des travaux que nous avons passés en revue insistent sur l'importance de remanier le curriculum existant de l'enseignement secondaire états-uniens. Il s'agit soit de mettre un accent plus prononcé sur certaines notions déjà présentes, soit de ré-agencer le contenu du curriculum pré-existant. Ces appels à revoir le curriculum scientifique états-

18. Les auteurs écrivent plutôt "de la nanoscience" que des nanosciences.

unien peut être rapproché des prises de positions de Schank *et al.* (2007) plaidant pour que "la nanoscience" soit un catalyseur permettant une modernisation en profondeur de l'éducation scientifique aux États-Unis.

Enfin, alors que des recherches sont entreprises pour documenter la conceptualisation par les élèves de certains concepts, certains travaux portent aussi, sur le matériel pédagogique utilisé pour enseigner ces notions, telle la recherche effectuée pour évaluer l'intérêt du film "Powers of ten" qui, bien qu'ancien, est utilisé fréquemment dans les classes nord-américaines pour approcher les différentes échelles spatiales et les puissances de 10 (Jones *et al.*, 2007a).

2.4 Instruments pour l'apprentissage et dispositifs pédagogiques innovants

S'il existe des supports pédagogiques qui ont déjà fait leurs preuves et qui peuvent être réexploités ou modernisés [19] pour enseigner des concepts liés aux nanosciences et aux nanotechnologies, de plus récents ont été également mis au point. Plusieurs recherches se focalisent ainsi sur l'intérêt d'innovations pédagogiques pour favoriser l'engagement des élèves et améliorer leurs apprentissages.

2.4.1 Des instruments pour l'apprentissage : utilisations de microscopes et d'interfaces haptiques pour l'enseignement des nanotechnologies

Parmi ces travaux, plusieurs s'intéressent à l'utilisation d'une instrumentation particulière pour l'enseignement.

2.4.1.1 Utilisation d'un AFM couplé à une interface haptique

Cinq études de notre corpus sont centrées sur l'impact de l'utilisation d'interfaces haptiques couplées à des microscopes à force atomique (AFM) ou à des simulations de microscopie AFM sur l'apprentissage et l'attitude des élèves (Jones *et al.*, 2003, 2004, 2006; Kubasko *et al.*, 2008; Jones *et al.*, 2007b). Comme le montre la figure 2.3, beaucoup des auteurs de ces recherches viennent de Caroline du Nord, aux États-Unis. Une équipe de l'université de Chapell Hill située dans cet État a en effet mis au point un "nanomanipulateur" couplant un microscope à force atomique à une interface haptique. Ce dispositif est utilisé pour étudier à distance un virus situé à l'université. Via internet, des élèves peuvent contrôler le microscope par l'intermédiaire d'un joystick et recevoir directement dans les doigts une sensation tactile. De plus, un logiciel reconstruit en trois dimensions l'image de l'objet exploré grâce à l'AFM et procure ainsi aux utilisateurs une représentation visuelle de ce qu'ils manipulent.

La manière dont ce dispositif peut être utilisé pour l'apprentissage de concepts liés aux nanosciences et aux nanotechnologies a été étudiée par des chercheurs en éducation selon des approches proches de la psychologie cognitive. Certains de ces auteurs faisaient d'ailleurs partie des contributeurs aux travaux sur les tailles et les échelles auxquels nous avons fait référence au paragraphe précédent.

Au travers de deux recherches, menées par questionnaires et des entretiens, Jones *et al.* (2003) et Jones *et al.* (2004) ont cherché à cerner l'influence du nanomanipulateur sur la compréhension et la motivation des étudiants. Ces études ont eu lieu alors que les élèves participaient à un module d'une semaine comprenant plusieurs autres activités sur les tailles et les échelles, les microscopies et où les élèves pouvaient s'entretenir avec des scientifiques.

La première recherche (Jones *et al.*, 2003) a rassemblé 50 élèves de high school. La seconde (Jones *et al.*, 2004) a mobilisé un plus grand nombre de participants puisque ce sont

19. Par exemple en les rendant interactifs comme le suggèrent Jones *et al.* (2007a) pour "Powers of ten".

FIGURE 2.3 – Auteurs des études sur l'utilisation des interfaces haptiques. (Le nom des auteurs ayant participé à l'élaboration des Big Ideas sont en bleus. Les auteurs ayant publiés ensemble ont des marqueurs de même couleur en face de leur nom.)

cette fois 209 étudiants répartis dans des classes de deux niveaux différents (7th grade et high school) qui ont pris part à l'étude. L'analyse des données a permis de montrer que l'utilisation du nanomanipulateur, de l'AFM et d'un modèle mécanique de l'AFM semblait avoir affecté la compréhension des étudiants (Jones *et al.*, 2003). Ceux-ci sont souvent passés d'une représentation des virus à deux dimensions à une représentation dans l'espace (Jones *et al.*, 2003). Leurs connaissances sur les virus, l'échelle nanoscopique et les différentes techniques de microscopie se sont aussi beaucoup améliorées après avoir pris part à ces différentes activités (Jones *et al.*, 2003, 2004). Ces résultats portant sur les apprentissages des étudiants sur les virus et sur le passage d'une représentation 2D à 3D ont par ailleurs été corroborés par une étude ultérieure (Kubasko *et al.*, 2008).

En outre, globalement et indépendamment de leur exposition à des expériences tactiles, les étudiants ont affiché une attitude plus positive à l'égard de la science, à l'égard de l'idée de travailler avec des microscopes et d'exercer une profession scientifique (Jones *et al.*, 2004). Dans une étude réalisée un peu plus tard et recherchant une influence éventuelle de l'origine ethnique des étudiants sur leur attitude face à ce module et sur leur perception de leur investissement dans ces activités, Jones *et al.* (2007b) ont aussi indiqué que, selon eux, les élèves "africains-américains"[20] étaient plus enclins à se déclarer d'accord avec l'affirmation *"science involves*

20. Ces catégories retenues par les auteurs nous semblent discutables. De plus, les terminologies que nous

mostly memorizing things and getting the right answer" que les "européens-américains". Ils n'ont toutefois trouvé aucune différence significative entre les "européens-américains" et les "africains-américains" pour ce qui concernait leur attitude vis-à-vis du module.

Concernant l'impact spécifique de l'information haptique transmise par le nanomanipulateur, les résultats diffèrent entre l'étude de 2003 et celle de 2004. Dans ces deux études, afin d'obtenir des informations sur l'impact de l'utilisation d'une interface haptique, les auteurs ont programmé le nanomanipulateur de telle sorte qu'une partie des élèves n'aient pratiquement pas de sensation tactile de l'objet [21]. La comparaison entre les réponses et les réactions des étudiants ayant bénéficié d'un rendu tactile du nanomanipulateur avec celles de l'autre groupe n'a donné aucun résultat significatif en 2003. En revanche, Jones *et al.* (2004) ont trouvé que les élèves qui avaient utilisé le nanomanipulateur renvoyant une sensation tactile dans les doigts, affichaient des attitudes significativement plus positives que les autres.

Pour enrichir ces réflexions sur les interfaces haptiques, introduites par l'utilisation du nanomanipulateur, une autre recherche comparant différents types d'interfaces avec l'utilisation d'une simple souris a été menée par Jones *et al.* (2006). Les deux interfaces haptiques à l'étude sont une interface nommée "PHANToM" constituée d'un bras robotisé simulant le sens du toucher et un joystick commercial assez sophistiqué. La comparaison s'est déroulée en utilisant un programme informatique permettant à l'étudiant de mener diverses expériences afin de déterminer l'identité d'un virus infectant un chien.

36 étudiants de middle et high schools de Caroline du Nord ont participé à cette étude. Tous les participants ont travaillé par binôme. 6 binômes ont été observés par les chercheurs tandis que tous leurs échanges ont été enregistrés. Des questionnaires ont aussi été récoltés pour mesurer les connaissances des étudiants sur les virus et les AFM et évaluer leur sentiment envers l'instruction qu'il venait de recevoir.

L'analyse des questionnaires écrits semble révéler que les étudiants ayant travaillé avec des interfaces haptiques se sont engagés plus intensément dans ces investigations que ceux qui ne disposaient que d'une souris. Il est également apparu des différences significatives entre les nombres de caractéristiques des virus dont les étudiants se rappelaient ainsi que dans l'intérêt qu'ils avaient trouvé à utiliser un AFM pour étudier le virus. Par ailleurs, l'analyse de discours a de permis de mettre en évidence que les étudiants disposant d'une interface haptique utilisaient plus d'analogies pour décrire les expériences et employaient notablement plus de termes affectifs. Cette catégorie de participants a eu aussi recours spontanément à des termes en lien avec la sensation tactile au cours leur discussion avec leurs binômes pour décrire les expériences et les virus.

D'après les auteurs de cette étude, le fait d'utiliser ce genre d'instrumentation modifie donc la nature de l'apprentissage et potentiellement les résultats cognitifs. Enfin, plus l'interface haptique est sensible et plus les résultats semblent bons.

Enfin, le nanomanipulateur a aussi donné lieu à une recherche s'intéressant à l'influence d'une utilisation "en différée" plutôt qu'en direct de ce dispositif (Kubasko *et al.*, 2008). Ainsi, dans cette étude deux configurations de l'atelier d'utilisation du nanomanipulateur ont été testées.

– Dans un cas (cas synchrone), les élèves ont utilisé le nanomanipulateur connecté en

employons ici sont les leurs : ils parlent d'élèves "African-American" et "European-American".

21. Dans l'article de Jones *et al.* (2003), les auteurs indiquent toutefois, qu'étant donné que la pointe de l'AFM se révélait extrêmement difficile à contrôler sans perception tactile, ils ont configuré la machine afin qu'elle ne transmette qu'un rendu du toucher peu prononcé. Il n'est pas précisé si l'équipe a procédé de nouveau de la sorte en 2004. Dans cette deuxième recherche, les auteurs mentionnent seulement une coupure du retour haptique ("cutoff"). Ils ont ainsi peut-être amélioré leur dispositif pour quasiment supprimer tout retour haptique.

direct à l'AFM de l'université. Ils menaient réellement leurs expériences sur les virus et avaient de plus en contact visuel par vidéoconférence avec un scientifique de l'université auquel ils pouvaient poser leurs questions.

– Dans l'autre (cas asynchrone), les élèves ont utilisé des fichiers d'enregistrements d'expériences AFM avec des virus. L'interface haptique leur permettait de sentir l'interaction entre la pointe AFM et le virus. Par ailleurs, les élèves communiquaient avec un scientifique par email et obtenaient une réponse dans les 24H.

Quatre classes de lycée ont participé à l'étude, deux travaillant sur le nanomanipulateur en direct et deux en différées. Les données recueillies comprenaient les questions des élèves posées au scientifiques, des pré et post tests sondant les connaissances des élèves sur les virus et les articles produits à la fin de l'activité.

L'analyse de ce corpus a montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les groupes pour ce qui concernait l'acquisition de connaissances sur les virus. En revanche, la nature des questions posées au scientifique a varié entre les groupes suivant les configurations, synchrone ou asynchrone. Les deux groupes ont posé environ le même nombre de questions. Toutefois, celles proposées en direct ont porté plus fréquemment sur le scientifique lui même (62% des questions) et les élèves s'adressaient à lui sur un ton relativement décontracté. Celles posées par email étaient au contraire rédigées dans un style plutôt formel et portaient sur le contenu de l'expérimentation, pour gagner en compréhension ou pour discuter de l'interprétation des expériences. Enfin, l'analyse des articles rédigés par les élèves montre que ceux s'étant engagés dans l'expérience "asynchrone" faisaient plus fréquemment référence dans leurs textes à leurs connaissances et à ce qu'ils avaient appris dans ce module. Cette recherche de Kubasko *et al.* (2008) souligne donc l'intérêt d'une approche asynchrone pour favoriser l'investigation des élèves [22].

2.4.1.2 Utilisation d'un microscope électronique avec des élèves de Middle School

Une autre recherche a sondé l'impact sur l'apprentissage et l'engagement des élèves, d'une séquence pédagogique recourant à une instrumentation de pointe, à savoir un microscope électronique à balayage (SEM) (Harmer et Columba, 2010). L'objet de la séquence pédagogique s'articulait autour d'un problème environnemental "authentique". Il était en effet proposé aux élèves de réfléchir aux problèmes de pollution du site de Lehigh Gap Superfund situé en Pennsylvanie (États-Unis) qu'étudient actuellement des scientifiques de l'agence de protection de l'environnement américaine. 55 élèves âgés d'environ 12 ans répartis dans deux classes ont pris part à cette recherche.

La séquence pédagogique a permis aux élèves d'aborder le problème de la pollution par le zinc, de discuter des méthodes et des outils utilisés par les scientifiques pour mener des études sur des régions polluées terrestres ou aquatiques. Les élèves ont aussi proposé et raffiné des solutions pour faire face au problème de pollution par le zinc touchant leur région. Il leur a été demandé de préparer des présentations exposant leurs hypothèses, leur protocole expérimental et les solutions qu'ils envisageaient. Enfin, cette séquence s'est achevée par la tenue des présentations. Les quatre jugées les plus robustes par l'enseignante et les auteurs ont été retenues pour être présentées à l'université de Lehigh.

Pour tenter d'appréhender la qualité de l'engagement des élèves dans l'activité, les auteurs ont eu recours à des observations en classe ; ils ont examiné des carnets de bord tenus par les élèves ; ils ont enfin mené un entretien avec l'enseignante et d'une série d'entretiens avec les élèves. Par ailleurs, pour cerner quels ont été les apprentissages des élèves, ils ont utilisé des questionnaires distribués au début et en fin de séquence.

22. Sur le plan pédagogique, ce genre d'approche est d'ailleurs beaucoup moins coûteuse que la mise en place d'une interaction en directe avec l'université par vidéoconférence.

À partir des données récoltées, Harmer et Columba ont trouvé qu'une proportion significative des élèves avaient appris notamment au cours de la séance :

- que des nanoparticules de fer pouvaient être utilisées pour la dépollution du site,
- que c'était un faisceau d'électrons qui servait à imager des objets dans un microscope électronique.

Ces acquisitions de connaissance étant mesurées par un petit nombre de questions, elles nous semblent toutefois à considérer avec prudence.

Par ailleurs, l'analyse des carnets de bord et des entretiens montre que l'engagement des élèves a été important. En s'appuyant sur les réponses des élèves, Harmer et Columba proposent une échelle de degré d'engagement, allant d'un intérêt moyen, à la volonté de faire carrière dans les nanotechnologies. L'étude des commentaires des élèves a en outre permis à ces auteurs d'identifier certains facteurs influant sur le sentiment des adolescents d'être outillés pour participer à la réflexion sur le problème de pollution du site de Lehigh. Au rang de ces facteurs, Harmer et Columba citent notamment l'utilisation d'une instrumentation performante utilisée dans les laboratoires de recherche et la possibilité d'être en contact avec des acteurs du monde universitaire.

Finalement, cette étude rapporte que la séquence d'enseignement dans son ensemble paraît avoir eu un impact positif sur l'apprentissage des élèves et sur leur engagement avec l'activité. Toutefois, le rôle particulier de l'utilisation d'une instrumentation sophistiquée n'est pas exploré en profondeur, même s'il semble jouer un rôle dans l'engagement des élèves.

2.4.2 Une stratégie pédagogique centrée sur l'élève pour enseigner les LED

Enfin, une autre recherche rend compte des effets d'une séquence pédagogique traitant des diodes électroluminescentes sur la motivation continuée des élèves (Continuing motivation), c'est à dire sur leur envie de travailler spontanément et d'aller au delà de ce qu'ils apprennent en contexte scolaire (Blonder et Dinur, 2011).

Les auteurs de cette recherche mettent en perspective l'orientation de leur travail avec la baisse du nombre d'étudiants optant pour des filières scientifiques. L'objectif qui sous-tend leur recherche est donc d'explorer comment l'apprentissage de la chimie peut être rendu plus attractif en travaillant dans deux directions :

- modifier les contenus enseignés aux étudiants en les modernisant ;
- repenser les approches pédagogiques pour enseigner ces contenus.

Blonder et Dinur (2011) ont ainsi construit une séquence pédagogique sur les diodes électroluminescentes, qu'elles présentent comme a "modern nanotechnology topic", conçue pour mettre en œuvre une pédagogie centrée sur l'élève. Ce module de 14 séances a été proposé à 36 jeunes filles de 15 ans réparties dans deux classes dont un pré-test a révélé qu'elles n'étaient, a priori, pas très intéressées par la chimie.

Les effets du choix de contenu et des approches pédagogiques sur la motivation continuée ont été évalués au moyen de pré et post tests sondant les attitudes des élèves à l'égard de la chimie, d'une évaluation sommative des connaissances, d'observations en classe et d'entretiens.

L'analyse du matériau recueilli montre que la participation à cet enseignement a favorisé la motivation continuée des étudiantes. Un peu plus des trois quarts des élèves interviewées ont rapporté avoir discuté de ce qu'elles avaient appris sur les LEDs avec leurs proches et un peu plus d'un quart rapportent s'être documentées toutes seules suite à ces cours. De plus, le nombre d'inscriptions en cours de chimie au semestre suivant a considérablement augmenté suite à cet enseignement, par rapport aux années précédentes (habituellement une dizaine d'élèves sur 60 s'inscrivaient en chimie et là 25 élèves se sont inscrites).

Par ailleurs, lors des entretiens, les deux tiers des élèves interrogées ont indiqué que le choix de la thématique enseignée avaient eu une influence sur leur motivation pour approfondir le sujet chez elles et leur inscription en cours de chimie au semestre suivant. Les transcriptions

de conversations informelles entre les élèves ont aussi permis de mettre en évidence l'existence de deux thèmes récurrents dans leurs propos :

- l'utilité de la thématique enseignée dans ce module ;
- et le défi intellectuel pour les élèves d'apprendre des choses sur les LED.

Enfin, toutes les élèves interrogées ont déclaré avoir apprécié l'approche pédagogique proposée dans cet enseignement. Les marques de satisfaction à l'égard des méthodes pédagogiques mises en œuvre se retrouvent aussi dans les transcriptions des conversations entre élèves au cours des séances, même si, au départ, certaines semblaient un peu désarçonnées par ce changement par rapport à leurs enseignements traditionnels.

2.4.3 Discussion

Finalement, les études présentées ici semblent, des dires mêmes de leurs auteurs, indiquer que de nouveaux outils (Jones *et al.*, 2003, 2004; Harmer et Columba, 2010) et que des approches pédagogiques présentées comme en rupture avec des méthodes plus traditionnelles (Blonder et Dinur, 2011) peuvent être utilisés avec profit pour enseigner les nanosciences et les nanotechnologies.

Ainsi, alors que certains auteurs comme Schank *et al.* (2007) voient dans les nanosciences une opportunité de rénover l'enseignement des sciences, leur introduction dans l'enseignement secondaire est ici mise à profit non seulement pour tester et étudier de nouvelles approches pédagogiques, mais aussi pour tester des outils innovants [23] pour enseigner.

Par ailleurs, dans ces recherches où les élèves participent à des modules sur les nanosciences et les nanotechnologies, l'impact de ces expériences sur l'attitude des élèves envers les sciences et même vis à vis de l'idée d'embrasser une carrière dans les sciences et les technologies semble globalement positif. Dans un contexte où certaines études pointent la pénurie possible de travailleurs dans les secteurs des nanotechnologies (Foley et Hersam, 2006), certaines activités pourraient être conçues de manière à inciter des étudiants à embrasser ce type de carrière en présentant les nanosciences et les nanotechnologies sous un jour séduisant. Blonder et Dinur (2011) revendiquent même explicitement cette idée d'utilisation des nanotechnologies pour endiguer la baisse du nombre d'inscription d'étudiants dans les filières scientifiques. Leur choix de présenter les LED comme des nanotechnologies [24] nous semble néanmoins discutable.

2.5 La formation des enseignants du secondaire sur les nanotechnologies

Si des innovations pédagogiques semblent favoriser l'apprentissage des élèves sur certains aspects des nanosciences et des nanotechnologies, des obstacles entravant la prise en charge de ces contenus par les enseignants de sciences sont cependant évoqués dans la littérature. Schank *et al.* (2007) ou Healy (2009) pointent notamment le problème de la formation des enseignants. D'ailleurs, alors que de multiples propositions d'activités ont déjà fleuri sur Internet (pour s'en rendre compte, il suffit d'aller consulter les sites du National Center for Learning and Teaching

23. Toutefois, sur un plan pédagogique, certaines approches proposées dans ces recherches s'appuient sur une instrumentation dont ne disposent pas tous les établissements scolaires. Si une version artisanale d'un modèle d'AFM peut être utilisée dans n'importe quelle école, pour peu que l'enseignant ait fait le choix de l'introduire dans son cours, l'utilisation d'un véritable AFM, d'un SEM ou celles d'interfaces haptiques dont il est fait état dans ces recherches, n'est pas généralisable à court terme, notamment du fait de leur coût. Aussi, seul un petit nombre d'étudiants peut bénéficier de ce genre d'initiatives. De plus, l'expérience du module d'une semaine étudié par l'équipe de l'université de Caroline du Nord, même si elle semble avoir été bénéfique en termes d'apprentissages, demeure ponctuelle. Sans que cela ne lui retire rien de sa valeur, dans une perspective d'éducation d'une vaste population et d'un enseignement sur les nanosciences pénétrant en profondeur les programmes, ce type d'expérience ne suffit pas. À un moment ou à un autre, il faut que les enseignants prennent le relais.

24. Au moins dans leur article.

(NCLT) [25], du Nanopedia Project de la Case Western University [26], du NanoSense Project (SRI international) [27] et du Materials Research Science and Engineering Center de l'université du Winsconsin-Madison (MRSEC) [28]), des recherches se sont intéressées spécifiquement à la formation des professeurs du secondaire sur les nanosciences et les nanotechnologies.

2.5.1 Des difficultés et des pistes pour penser la formation des enseignants sur les nanotechnologies

Selon Schank *et al.* (2007), dans le système états-unien, plusieurs difficultés freinent la prise en charge des nanosciences par les enseignants dans leurs cours. D'abord, dans l'enseignement secondaire, les sciences sont essentiellement enseignées dans le cadre de cours spécifiques à chaque discipline. De plus, la majorité des enseignants en exercice ont suivi une formation disciplinaire. Ils ne se sentent donc pas forcément capables d'aborder dans leurs cours des objets d'étude étrangers à leurs disciplines d'origine. Ce manque d'aisance dans les autres matières est en outre souvent doublé de connaissances lacunaires sur ces domaines émergents (Schank *et al.*, 2007). En effet, si les chercheurs ont souvent l'opportunité et les moyens de se maintenir au fait des derniers développements scientifiques, ce n'est pas forcément le cas des enseignants (Tomasik *et al.*, 2009).

Pour remédier en partie à ces obstacles, Schank *et al.* (2007) pointent alors plusieurs pistes. Il faut selon ces auteurs, développer du matériel de soutien pour les enseignants sur les contenus qui sortent de leur domaine d'expertise. Pour éviter, qu'ils ne soient mis en difficulté par des questions incongrues ou des conceptions erronées, ils conseillent que du matériel éducatif soit développé et fournisse aux enseignants des pistes de discussions, anticipe des questions d'élèves et identifie les potentielles conceptions inexactes des étudiants (Davis et Krajcik, 2005, cité dans Schank *et al.*, 2007).

De plus, constatant qu'actuellement, aux États-Unis, la majorité des enseignants en formation initiale ne choisissent qu'une majeure dans une discipline, ces auteurs proposent, pour le court terme, de développer des cours sur les méthodes en science s'attaquant à des sujets interdisciplinaires, innovants et émergents, comme les nanotechnologies (Schank *et al.*, 2007). Selon eux, ce genre d'enseignement pourrait ensuite permettre aux enseignants de promouvoir auprès de leurs étudiants une approche réellement interdisciplinaire de la science.

Enfin, Schank *et al.* (2007) proposent également que des formations d'un week-end ou se déroulant pendant les vacances soient mises sur pied. Celles-ci pourraient, selon eux, être l'occasion pour les enseignants de rencontrer ou de nouer des partenariats avec des scientifiques ou d'autres professeurs.

Cette recommandation sur la mise en place de formations d'enseignants se retrouve dans un article de Kähkönen *et al.* (2011) qui s'intéresse au système éducatif finnois. À la lumière des besoins déclarés des enseignants de sciences et de mathématiques évalués par une étude par questionnaire en ligne, ces auteurs plaident également pour le développement de matériel pédagogique et en particulier d'outils abordables financièrement pour les établissements. Ces auteurs mentionnent aussi le potentiel des partenariats entre universités et l'enseignement secondaire, mais également entre les écoles et certaines industries. Pour eux, la mise en place d'environnements d'apprentissage extra-scolaires ou bien l'invitation de scientifiques dans les établissements pourrait en effet constituer une première manière d'introduire les nanosciences et les nanotechnologies dans l'enseignement secondaire. Toutefois, à plus long terme, Kähkönen *et al.* (2011) estiment que le curriculum devra sans doute être révisé pour faciliter la prise en charge de ces contenus par les enseignants.

25. http ://community.nsee.us/ consulté le 04/09/2012
26. http ://www.certh.gr/4E3CC480.en.aspx consulté le 21/06/2009
27. http ://nanosense.org/ consulté le 21/06/2009
28. http ://mrsec.wisc.edu/Edetc/ consulté le 21/06/2009

Si les formations pour les professeurs de collège et lycée sur les nanotechnologies ne sont peut-être pas encore monnaie-courantes, certaines ont déjà été proposées et étudiées. Certains des articles qui rendent compte de ces formations sont proches de compte-rendus d'innovations (Tomasik *et al.*, 2009; Nichol et Hutchinson, 2010). D'autres recherches (par exemple Bryan *et al.*, 2007; Daly et Bryan, 2010) les étudient en les resituant par rapport à des problématiques de recherches en éducation aux sciences pré-existant à l'introduction des "nanos" dans l'enseignement secondaire.

2.5.2 Des expertises de dispositifs de formation des enseignants

Tomasik, Jin, Hamers et Moore, issus du département de chimie de l'université du Wisconsin-Madison, relatent la mise en place, le déroulement et l'évaluation d'une formation à distance dispensée via Internet mettant l'accent sur les interactions entre participants et entre l'instructeur et les participants. Durant l'été 2006, 13 participants volontaires ont pris part à un cours étalé sur 8 semaines visant à enrichir leurs connaissances et leur fournir différentes ressources sur les nanosciences [29] pour construire leurs propres enseignements.

En utilisant des questionnaires Tomasik *et al.* (2009) ont montré que ces enseignants ont beaucoup appris grâce à cette formation.

Par ailleurs, en examinant les propositions pédagogiques élaborées par les participants, ces auteurs ont identifiés deux manières différentes d'introduire les nanotechnologies. L'une consiste à proposer une série de leçons disséminées à différents moments de l'année. L'autre est une unité ou une activité complète de "nanoscience" destinée à être intégrée à un moment donné de l'année scolaire.

En outre, l'année suivant cette formation, Tomasik *et al.* (2009) ont demandé aux participants à cette école d'été s'ils avaient mis en place leurs propositions d'activités dans leurs classes. Huit enseignants sur les dix qui ont répondu, ont affirmé avoir proposé des enseignements sur les nanosciences à leurs élèves. Malheureusement, l'article ne détaille pas les raisons motivant le choix de ces professeurs d'inclure ou non ces "nano-contenus" dans leurs enseignements.

D'autres formations d'enseignants ont été dispensées et évaluées aux États-Unis. Depuis 2002, l'université de Rice propose une formation pour les professeurs sur les nanotechnologies s'étalant sur un semestre. Les objectifs affichés de ce programme rapportés par Nichol et Hutchinson (2010) sont triples. Il s'agit éveiller l'intérêt des enseignants et de leurs élèves pour la recherche scientifique, "d'exposer" les enseignants à des pédagogies actives et de rafraîchir leurs connaissances en physique et en chimie. En 2009, les organisateurs de cette formation ont voulu tenter l'expérience de l'étendre à des professeurs de l'État du Colorado grâce un système de vidéoconférences (Nichol et Hutchinson, 2010).

Pendant un semestre, 36 enseignants présents à Rice et 11 présents à l'université de Boulder ont suivi chaque semaine 3H de cours. Les premières 1H30 étaient données depuis le campus texan et retransmises en direct au Colorado. L'autre moitié du cours était donnée à Boulder et retransmise à Rice.

Les résultats de cette expertise du dispositif ne montrent globalement pas de différence significative entre la satisfaction des enseignants présents dans les deux universités. Dans ces deux lieux, les enseignants ont par ailleurs été très enthousiastes. 70% d'entre eux se déclarent capables de discuter des nanotechnologies en sortant de la formation. Suite à une enquête en ligne, tous ceux qui ont répondu (38 enseignants) ont rapporté avoir réutilisé ce qu'ils avaient appris dans leurs enseignements, 46% ont indiqué qu'ils trouvaient que la vidéoconférence était un plus pour ce cours quand seulement 5% considéraient que c'était un désavantage.

Si ces expertises offrent seulement peu de détails sur l'appropriation et la réutilisation

29. Ici aussi Tomasik et al. (2009) parlent en fait de "nanoscience" au singulier.

par les enseignants des contenus qui leur ont été présentés, d'autres recherches proposent une description plus circonstanciée de la manière dont les professeurs se sont emparés des savoirs mis à leur disposition dans d'autres formations.

2.5.3 Des recherches empiriques sur certaines formations d'enseignants

2.5.3.1 Utilisation de modèles d'AFM dans le cadre d'une formation pour des enseignants de chimie de lycée

Blonder (2010) s'est intéressée à la manière dont l'utilisation d'un modèle d'AFM [30] en formation a permis à des enseignants d'acquérir des connaissances sur la microscopie AFM mais aussi de modifier leur attitude vis-à-vis de l'introduction de ce modèle dans leurs classes.

14 enseignants israëliens expérimentés ont participé à l'étude. Les données recueillies comprennent les compte-rendus de travail en laboratoire rédigés par les enseignants et des cartes conceptuelles sur lesquelles ils devaient noter les idées, images et expressions sur l'AFM qui leur venaient à l'esprit et mais aussi expliquer les raisons de leurs réponses.

L'analyse de ce matériau a permis à Blonder d'affirmer que ce modèle d'AFM avait permis aux participants d'approfondir leurs connaissances. Au terme de la formation, tous les professeurs avaient compris comment la pointe de l'AFM interagissait avec la surface atomique mais aussi comment fonctionnait le système de détection d'un AFM. Par ailleurs, l'idée erronée partagée par certains selon laquelle la détection de la hauteur de la pointe était due à l'existence d'un flux d'électrons (comme dans les microscopes à effet tunnel), avait disparu à la fin de la formation. L'analyse des rapports de laboratoire a également permis d'établir que les enseignants étaient capables de discuter des avantages et des limitations de ce modèle.

Enfin, les enseignants étaient, avant cette formation, assez mitigés sur leurs capacités à donner des cours sur l'AFM et sur la nanochimie à leurs élèves. Au contraire, au terme de ce stage, ils s'étaient tous approprié le dispositif et avaient développé une attitude positive vis-à-vis de l'utilisation de ce modèle en classe. Blonder mentionne même que certains participants ont écrit vouloir aller plus loin en donnant un aperçu à leurs élèves des nanotechnologies et de la nanochimie.

Outre cette recherche menée en Israël, une autre formation des enseignants a été organisée et étudiée aux États-Unis. Le National Center for Learning and Teaching (NCLT) a en effet mis sur pied un programme pour aider les enseignants du secondaire à intégrer des contenus sur les nanosciences et les nanotechnologies dans leurs enseignements.

2.5.3.2 Une approche "Design-Based" pour développer une formation à destination des enseignants sur les nanotechnologies

Cette formation financée par la NSF et développée suivant une approche itérative dans la lignée des recherches "Design-Based" (The Design-Based Research Collective, 2003) a été examinée sous plusieurs angles par une équipe de l'université de Purdue. Selon Bryan *et al.* (2007), elle doit permettre à des enseignants d'améliorer leurs connaissances et d'identifier des connexions possibles entre les nanosciences [31] et les disciplines traditionnelles. Cette formation a de plus une visée pédagogique de promotion de l'enseignement et de l'apprentissage par l'investigation (inquiry-based teaching and learning). Elle s'articule essentiellement autour :

- d'une école d'été où les enseignants suivent des cours sur des concepts de nanoscience ;
- de séminaires donnés par des chercheurs travaillant dans le domaine des nanosciences et des nanotechnologies ;

30. Le modèle d'AFM en question est celui proposé par Planinšič et Kovač (2008) .
31. Bryan et al. parlent de "nanoscale science".

– de la mise en place de leçons tout au long de l'année scolaire mettant en œuvre une "démarche d'investigation" (inquiry-based lessons) dont certaines sur les nanosciences.

Lors de la première mise en œuvre de cette formation en 2006, 12 enseignants de middle et high school, tous volontaires, y ont pris part. Différents types de données ont été récoltées : plusieurs questionnaires ; des entretiens ; des enregistrements vidéo et audio des conversations entre enseignants sur les modèles ; les plans de leçons transmis par les enseignants. Plusieurs résultats ont été dégagés de l'analyse de ces données.

Concernant l'enseignement par investigation promu au travers de cette formation, Bryan *et al.* (2007) indiquent qu'en dépit de la perception que certains enseignants pouvaient avoir, les résultats de recherche montrent que beaucoup avaient besoin de revisiter et de raffiner leurs connaissances et leurs croyances à propos de l'investigation.

L'examen des plans de leçons a par ailleurs permis de mettre en évidence deux choses.

D'abord, il est apparu que les enseignants tendaient à ne pas mettre en lumière la nature interdisciplinaire des nanosciences dans leurs leçons. Ainsi, Daly *et al.* (2007) et Bryan *et al.* (2007) soulignent que lorsque les enseignants ont cherché dans les standards les endroits où ils pouvaient introduire des nanosciences, ceux-ci se sont spontanément rabattus sur les standards de leur discipline. Ce résultat soulève pour les chercheurs étudiant cette formation, deux questions importantes :

Comment faire prendre conscience aux enseignants participant de la valeur des connexions entre les disciplines ?

Et comment les inciter à passer du temps à enseigner une thématique qu'ils considèrent extérieure à leur cours, sachant que le temps est compté pour boucler le programme ?

Ensuite, les enseignants ont été plus enclins à incorporer des contenus sur les nanotechnologies comme des extensions de cours existants plutôt que de proposer des enseignements à part et entièrement nouveaux sur un concept "spécifiquement nano" comme l'auto-assemblage (Daly *et al.*, 2007). Ce résultat a d'ailleurs été de nouveau mis en évidence suite à la deuxième mise en œuvre de la formation l'année suivante (Hutchinson *et al.*, 2009).

Suite à la seconde édition de l'école d'été, en 2007, Hutchinson *et al.* (2009) ont aussi étudié les facteurs influençant les choix de thématique effectués par les professeurs pour leur "nano-leçon". L'analyse d'échanges qui ont eu lieu lors d'un "focus group" a ainsi permis de faire émerger cinq facteurs principaux ayant conditionné les choix des contenus "nanos" que les enseignants ont introduits dans leurs cours :

– la pertinence,
– la motivation des élèves,
– les rigidités du curriculum,
– des considérations techniques,
– et des problèmes de maîtrise des contenus.

Hutchinson *et al.* (2009) soulignent de plus que certains enseignants se sont sentis mal à l'aise pour répondre aux questions de leurs élèves. Ils estimaient ne pas avoir un bagage scientifique suffisant pour apporter des réponses. Par ailleurs, une enseignante avec laquelle les chercheurs ont mené deux entretiens après son cours sur la nanoscience et la nano-ingénierie, a expliqué qu'elle enseignerait ces contenus plus volontiers si elle possédait des connaissances plus solides. Elle a de plus déclaré qu'elle n'aurait sans doute pas été capable de mettre en place ce cours sans l'aide de l'un des organisateurs de la formation présent dans sa classe.

Conceptions sur les modèles des enseignants Enfin, une attention particulière a été apportée aux conceptions des enseignants sur les modèles et sur la manière dont ils utilisaient des modèles dans leurs enseignements sur les nanosciences et les nanotechnologies (Daly et

Bryan, 2007). Certains chercheurs (Jones *et al.*, 2008; Daly et Bryan, 2010, 2007; Jones *et al.*, 2012) s'intéressent en effet aux conceptions des enseignants puisque celles-ci peuvent fortement influencer la compréhension des nanosciences et des nanotechnologies que développent ensuite leurs élèves.

L'examen des modèles choisis par les enseignants pour les utiliser en cours montre qu'ils ont souvent choisi des images (6 sur 12). Seules 4 propositions intégraient l'idée de permettre aux élèves de construire eux-mêmes leurs modèles, sans que la latitude de liberté laissée aux élèves pour tâtonner soit très claire. De plus, 6 enseignants ont admis ne pas être très sûrs des limites de leurs modèles. Finalement, seul un participant a discuté de la pertinence de son modèle par rapport à son intégration dans une activité d'investigation.

Ainsi, Daly et Bryan (2007) concluent de leurs analyses de cette première mise en œuvre de la formation que les enseignants participant à cette recherche considèrent souvent les modèles comme ayant essentiellement une visée de démonstration ("Show-and-tell purposes").

Suite à ces analyses, des modifications ont été apportées à la partie de la formation dédiée spécifiquement à la réflexion sur les modèles. Daly et Bryan (2007) écrivent ainsi avoir envisagé :

- de présenter d'abord aux enseignants une panoplie de thèmes en les encourageant à rassembler des informations sur celui qu'ils voudraient développer dans leur classe ;

- de permettre ensuite aux enseignants de réfléchir aux différents types de modèles dont ils estimeraient qu'ils seraient les plus à même de favoriser l'apprentissage des étudiants, puis de sélectionner ou de créer un voire plusieurs modèles ;

- de promouvoir de plus amples discussions sur les modèles utilisés tout au long de la formation ainsi que de mieux souligner quels seraient les modèles retenus et pourquoi ;

- enfin, de fournir aux enseignants d'autres éclairages issus de la littérature sur l'utilisation des modèles comme outils pour la création d'activités et pour l'investigation.

Suite aux nouvelles mises en œuvre de la formation en 2007-2008 et 2008-2009, Daly et Bryan (2010) ont analysé les plans des leçons sur les nanotechnologies proposées par les enseignants. Elles ont aussi étudié leurs commentaires écrits détaillant la façon dont ils avaient utilisé des modèles dans leur cours. Quatre types d'utilisation ont émergé de cette analyse :

- 10 enseignants ont eu recours à des modèles en tant qu'outils de visualisation.
- 5 enseignants ont proposé des leçons où les modèles étaient conçus par les élèves. Ceux-ci devaient alors formaliser leurs idées, leurs connaissances ou les données collectées pour créer un modèle sur un objet, un concept ou un phénomène.
- 7 enseignants ont utilisé des modèles comme des représentations que les élèves devaient critiquer en s'appuyant sur leurs conceptions.
- Enfin 3 enseignants ont intégré dans leur enseignement des modèles servant d'outils pour l'investigation des élèves. Les élèves ont, dans ces cas précis, utilisé ces modèles pour collecter des informations, des données, répondre à des questions, formuler des hypothèses ou faire des prédictions.

Daly et Bryan (2010) indiquent également qu'aucun enseignant n'a exprimé de difficulté particulière pour incorporer des modèles dans leurs cours et que ces modèles n'étaient pas de simples ajouts accessoires. Ils étaient souvent au cœur de la leçon proposée.

Ainsi, selon Daly et Bryan (2010), cette recherche démontre qu'en proposant une formation adaptée aux enseignants, ils ne se restreignent pas à utiliser les modèles comme outil de visualisation mais qu'ils peuvent aussi les intégrer à des enseignements plaçant l'élève au cœur de l'activité.

2.5.4 Discussion

Certains auteurs de recherches sur les formations des enseignants (Daly *et al.*, 2007; Bryan *et al.*, 2007) mettent donc une fois encore l'accent sur le problème de l'interdisciplinarité. Les

recherches menées sur le programme de la NCLT mais aussi celle s'intéressant à la formation proposée par l'université de Rice (Nichol et Hutchinson, 2010) mettent par ailleurs en évidence que l'enseignement des nanosciences et des nanotechnologies est souvent mis en perspective avec une réflexion plus vaste sur les modalités de leur prise en charge et en particulier avec une réflexion sur le renouvellement des approches pédagogiques des enseignants [32]. Ces questions soulevées par l'interdisciplinarité tout comme la velléité des concepteurs de ces formations de mettre l'accent sur la pédagogie au même titre que sur les contenus nous semblent intéressants à confronter aux prises de positions de certains auteurs appelant à profiter des nanotechnologies pour profondément réformer l'enseignement des sciences dans les classes de l'enseignement secondaire (Schank *et al.*, 2007).

Enfin, même si Daly et Bryan (2010) indiquent que la formation conçue par le NCLT prend en charge certains aspects liées à l'idée-clée "Science Technology and Society", toutes ces formations d'enseignants semblent se concentrer sur la présentation de contenus scientifiques et technologiques ou pédagogiques. Aucune formation ne nous semble proposer aux enseignants de questionner les enjeux des développements des nanotechnologies et d'explorer les controverses entourant ces développements. A fortiori, nous n'avons rencontré aucune recherche s'intéressant à la manière dont une formation pourrait outiller les enseignants du secondaire à prendre en charge les questionnements soulevés par les développements des nanotechnologies dans leur classe [33]. Pourtant, de même que les conceptions des enseignants ont une influence sur celles des élèves, leur compréhension des dimensions politiques, économiques, sociales et éthiques du développement des nanosciences et des nanotechnologies va certainement influer sur la place accordée à ces aspects et sur la manière d'aborder (ou pas) ces questions dans leurs cours. Par conséquent, la définition du contenu de ces formations n'est pas neutre et doit être déterminée en fonction de la réponse apportée à la question : Pourquoi introduire les nanosciences et les nanotechnologies dans l'enseignement secondaire. Est-ce seulement pour former la prochaine génération de nanoscientifiques tel que l'écrivent Tomasik *et al.* (2009) ?

2.6 Nanosciences et nanotechnologies en société

Si les réflexions sur la prise en charge dans l'enseignement secondaire des questionnements d'ordre éthique, politique, économique et social soulevés par les développements des nanosciences et des nanotechnologies nous semblent être passées au second plan dans les articles

32. Par ailleurs, d'un point de vue pédagogique, il nous semble intéressant de souligner que dans ces recherches empiriques que nous avons rencontrées, les enseignants étaient volontaires pour participer à des formations totalement facultatives. Ils avaient donc un profil particulier et a priori étaient plutôt favorables à l'idée de se former à de nouveaux contenus sur les nanos. Nous pouvons même supposer que ceux-ci étaient enclins à les introduire dans leurs cours. Les petits effectifs qui prennent part à ces formation ne sont toutefois peut-être pas représentatifs du reste du corps professoral, et il se pourrait qu'un certains nombre d'enseignants éprouvent plus de réticences à adopter ces contenus innovants que ceux présentés ici. Leur intégration dans le déroulement de leurs cours exige en effet un investissement intellectuel important et prend aussi beaucoup de temps. Certaines formations dont nous avons rendu compte ici, se sont d'ailleurs souvent déroulées, intégralement ou pour partie, sur la durée des vacances scolaires. Les auteurs de l'une de ces recherches rapportent même avoir parfois éprouvé quelques difficultés à trouver un équilibre entre ne pas trop demander aux enseignants pendant l'année scolaire et exiger d'eux un engagement indispensable pour que le programme demeure cohérent (Bryan *et al.*, 2007).

À ce propos, l'idée de mettre en place des environnements collaboratifs de formation en ligne présente un avantage important : celui de la flexibilité. De plus, il permet de réunir des enseignants qui peuvent résider loin du centre de formation.

33. À deux bémols près : l'influence d'une formation d'enseignants pour les outiller pour prendre en charge les questions STS récemment introduites dans le curriculum turc, mentionne qu'un groupe de participants travaillait sur "les avancées des nanotechnologies" (Kaya *et al.*, 2009). Cette recherche ne s'interroge toutefois pas spécifiquement sur l'introduction des nanosciences et des nanotechnologies dans l'enseignement secondaire.

Par ailleurs, nous avons eu connaissance d'une autre recherche menée également en Turquie lors de la conférence ESERA 2011 par Akaygün prenant en charge certaines dimensions controversées des développements des nanotechnologies dans une formation initiale pour les enseignants.

sur la formation des enseignants que nous avons rencontrés, elles ne sont pas non plus tout à fait inexistantes dans la littérature de recherche en didactique des sciences.

2.6.1 Pourquoi et comment prendre en compte les questionnements soulevés par les développements des nanotechnologies ?

Plusieurs auteurs discutent ou étudient l'introduction d'enseignements sur les questionnements sociaux, politiques, économiques et/ou éthiques au niveau universitaire (Par exemple Sweeney, 2006; Tahan *et al.*, 2006; Toumey et Baird, 2008; Gardner *et al.*, 2010; Albe et Bouras, 2010). Ils sont toutefois beaucoup moins nombreux à discuter de cette question pour l'enseignement secondaire.

Parmi les recherches dont nous avons rendu compte jusqu'à présent, l'une amenait néanmoins des élèves de middle school à explorer comment les nanotechnologies pouvaient participer à dépolluer un site sinistré par une usine de métallurgie du zinc (Harmer et Columba, 2010) et dans ce cas précis, la situation choisie devait aussi amener les élèves à se questionner sur :

> *"the potential safety concerns in using nanotechnology to remediate polluted aeras" (Harmer et Columba, 2010, p. 93)*

Les auteurs de cette recherche ont motivé ce choix d'entrée en référence à la littérature qui pointe l'efficacité d'une telle approche pour favoriser l'engagement des élèves dans l'activité. Cette utilisation en classe d'une question socioscientifique nous semble ainsi se rapporter à ce qu'Albe (2007) qualifie d'accroche motivante.

Par ailleurs, dans un texte paru dans l'ouvrage intitulé "Nanoscale Science and Engineering Education", Berne (2008) plaide pour la prise en charge des questionnements éthiques posés par l'avènement des nanosciences et des nanotechnologies dès le lycée. Pour cette chercheure du département "Science Technology Society" de l'université de Virginie aux États-Unis, les nanotechnologies portent en elles un potentiel de transformation de nos sociétés considérable. C'est pourquoi, selon cette auteur, une éducation des individus sur ces questions ne peut se passer d'une réflexion éthique "consciencieuse"[34] et elle postule l'importance d'une prise en compte consciente des enjeux planétaires, sociaux, économiques et moraux des développements des nanotechnologies dès l'enseignement secondaire.

Selon Berne, le développement d'un curriculum traitant des questions de ce qu'elle nomme "nanoéthique" est toutefois un défi à plusieurs égards. Berne déclare emprunter aux approches "traditionnelles" de l'éthique et pointe plusieurs directions pour aborder ces interrogations avec des étudiants ou des lycéens :

- identifier et évaluer les intérêts des différents acteurs qui pourraient être affectés par les développements des nanotechnologies (consommateurs, chercheurs, investisseurs, entreprises, le grand public, gouvernements) ;
- identifier les problèmes de justice qui pourraient être engendrés comme par exemple les problèmes d'accès aux soins ;
- établir des principes et des règles morales pour encadrer les recherches et les mises sur le marché ;
- évaluer les droits des individus et/ou des animaux au regard des dangers potentiels de ces développements ;
- identifier les valeurs ou les croyances de certains individus ou communautés qui pourraient être menacées ou préservées ;
- déterminer les potentiels impacts sociétaux ou les coûts et bénéfices sociaux ;

34. Elle parle en effet d'une "conscientious approach to nanotechnology education", explicitant que le qualificatif "conscientious" sert à souligner l'intention d'enseigner aux étudiants à s'interroger sur ce qui est juste et bon.

– souligner les responsabilités et les devoirs des professionnels et des gouvernements qui peuvent être associés aux développements des nanotechnologies.

Par ailleurs, Berne (2008) insiste sur l'importance d'adopter une approche multidimensionnelle pour traiter des questionnements éthiques soulevés par les nanotechnologies de manière à restituer la complexité des problèmes en jeu. Elle propose alors trois niveaux d'investigation "nanoéthique".

Le premier regroupe des questionnements relativement consensuels se rapportant aux exigences de respect de soi, de sa profession, d'autrui. Il concerne par exemple l'éthique encadrant les activités professionnelles de ceux qui travaillent sur les nanotechnologies. Comme matériel pédagogique permettant de traiter de ces interrogations, Berne suggère d'utiliser des guides de déontologie de recherche, des codes professionnels, les textes de lois sur l'environnement, la santé, ou la protection des travailleurs.

Le second niveau d'investigation que distingue Berne porte sur des prises de position morales qui sont négociables. Il s'agit alors d'engager les élèves dans un processus dialogique permettant l'exploration et la négociation des valeurs. Elle propose aussi plusieurs exemples d'interrogations qui peuvent être abordées et notamment :

- les problèmes de protection de la vie privée et des libertés,
- les problèmes de l'accès à une éducation sur les nanosciences et les nanotechnologies,
- les questions de compétition entre les pays pour développer les nanotechnologies,
- les questions soulevées par les utilisations militaires des nanotechnologies,
- les questions d'amélioration de l'humain.

Selon Berne, dans ce second niveau d'investigation, ce qui est questionné, ça n'est pas le caractère désirable ou le mérite de ces évolutions. Elle écrit qu'ici, ce qui est interrogé ce sont les objectifs, les directions et les intentions orientant ces changements ainsi que la possibilité de tenir effectivement les promesses annoncées. Les valeurs et les croyances individuelles sont alors interrogées, ré-ordonnées voire redéfinies à la lumière des intérêts des différents acteurs.

Le troisième niveau d'investigation identifié par Berne vise enfin à questionner pourquoi une technologie en particulier est développée, quelles sont les significations qu'elle revêt et quelles sont les ambitions et les croyances profondément ancrées qui ont stimulé son développement. Il s'agit alors d'engager les étudiants à s'interroger sur des questionnements plus abstraits au travers de l'Art, du mythe ou d'autres langages symboliques. Pour Berne, les images, un travail sur l'imagination au travers de l'écriture ou l'étude d'œuvres de science-fiction sont des activités qui permettent d'aborder ce troisième niveau de questionnement "nanoéthique".

Enfin, Berne pose encore plusieurs questions notamment sur la forme que doit prendre l'intégration de la "nanoéthique" dans le curriculum universitaire ou pré-universitaire. Elle s'interroge ainsi :

Cet enseignement doit-il être obligatoire ?

Faut-il l'intégrer sous forme d'un cours à part ou bien disséminer des activités tout au long des enseignements ?

Enfin qui doit prendre en charge cet enseignement ?

2.6.2 Une recherche empirique portant sur une mise en débat du transhumanisme

Dans une autre recherche, c'est un partenariat entre un laboratoire et un lycée qui a été développé. Cette expérimentation pédagogique repose sur une collaboration entre une classe de terminale d'un lycée de centre ville de Toulouse et des chercheurs travaillant sur des nanosystèmes du Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS). Dans un compte-rendu de cette innovation, Panissal *et al.* (2010) motivent la mise en place de ce dispositif en évoquant deux objectifs. Le premier relève de considérations économiques et pédagogiques. Ils rapportent que ce projet

> *"vise à favoriser l'insertion professionnelle des élèves dans les secteurs de la production technoscientifique industrielle et de la recherche"* (Panissal *et al.*, 2010, p. 320)

Pour y arriver, les chercheurs en nanotechnologies participant au projet semblent considérer que la présentation des sciences telle qu'elle est proposée au lycée doit être modifiée.

Le second objectif affiché se rapporte, pour reprendre les mots des auteurs, au *"développement d'une culture scientifique à des fins citoyennes"*[35].

Pour atteindre ces deux visées, Panissal *et al.* (2010) soulignent l'importance de mettre les élèves en situation de chercheurs, en les faisant venir au laboratoire. Ils insistent sur l'importance de l'interdisciplinarité. Pour eux, les nanotechnologies sont justement une opportunité de favoriser un enseignement intégré, dépassant les frontières disciplinaires traditionnelles. Par ailleurs, selon Panissal *et al.* (2010) cette interdisciplinarité doit être étendue aux disciplines "humanistes" au travers de la mise en débat en classe de questions soulevées par les développements des nanotechnologies.

Le dispositif qu'ils ont construit, d'un volume horaire de 40 H, est articulé en trois volets. Le premier est un ensemble de cours dispensés au lycée. Ces enseignements sont dispensés par des chercheurs et portent sur des concepts de chimie, de physique, de biologie et de mathématiques au programme de terminale S. Passé ces cours théoriques, les élèves participent à une journée entière de travaux pratiques au sein du LAAS. Ils sont alors encadrés par des doctorants et mènent une expérience de leur choix sur un nanodispositif de biodétection. Enfin, suite à ces cours de sciences et ces travaux pratiques, les élèves préparent un débat argumenté. Pendant 12 H, ils étudient un dossier documentaire, choisissent une question qu'ils estiment socialement vive qui sera l'objet du débat, préparent une rencontre avec "des spécialistes" (en l'occurence un généticien et un philosophe), et rencontrent ces spécialistes. La classe est ensuite scindée en deux et les élèves discutent pendant une heure de la question qu'ils ont retenue.

Panissal *et al.* (2010) rapportent que les élèves participant à l'expérimentation ont choisi de discuter des questions suivantes :

> *"dispose-t-on d'une maîtrise suffisante des nanotechnologies pour modifier l'être humain et en a-t-on le droit ?" ; "peut-on se permettre la création d'un surhomme ?" ou encore "les nanotechnologies peuvent-elles améliorer l'humain et est-ce souhaitable ?"* (Panissal *et al.*, 2010, p. 329)

Cette partie du dispositif a donné lieu à une recherche centrée sur le contenu du débat entre élèves. Simonneaux *et al.* (2012) ont ainsi étudié les échanges au sein de l'un des groupes de 16 adolescents suivant trois perspectives :

- elles ont analysé le type d'interactions linguistiques entre élèves en se référant à Mercer (1995) et Mork (2005) ;

- elles ont caractérisé le "type de rationalité" développé dans les discours des élèves en écrivant qu'elles s'inspirent ici des travaux Beck (1986) sur la "société du risque" ;

- Enfin, elles ont qualifié la perception du risque des élèves en utilisant les idéaux-types définis par l'anthropologue Douglas (1992) dans sa théorie culturelle de la perception du risque.

Ces auteurs expliquent ce choix particulier d'approche mettant l'accent sur le risque pour l'analyse en expliquant :

> *"In our view, the perceived risk of technoscience strongly influences learning and attitudes."* (Simonneaux *et al.*, 2012, p.7)

Lors de leur analyse des données, Simonneaux *et al.* (2012) ont fait émerger deux groupes d'élèves caractérisés par leurs perceptions différentes des nanotechnologies et plus largement

35. Dans l'article de Simonneaux *et al.* (2012), cette mise en perspective avec des considérations d'ordre économique et pédagogique n'est plus mentionnée que dans la conclusion de l'article. Les objectifs alors évoqués sont un objectif cognitif : apprendre sur les nanotechnologies et un objectif social et éthique (discuter des nanotechnologies) (Simonneaux *et al.*, 2012, p. 10-11).

par leurs perceptions du “progrès technoscientifique”. Reprenant les termes utilisés par les élèves eux-mêmes pour qualifier leur point de vue, elles désignent ces groupes comme “optimistes” et “pessimistes”.

Elles caractérisent ensuite les types de discours développés par ces élèves en référence à Mercer qui a proposé trois types de discours[36] :

- disputationnel : les échanges sont alors courts, les interlocuteurs opposent leurs points de vue et les divergences d’opinion sont affirmées plutôt que résolues.
- cumulatif : ce type de discours est marqué par les répétitions, les confirmations et les explicitations. Les interlocuteurs partagent leurs idées et des informations et arrivent parfois à des décisions communes. Il y a cependant peu de mise en doute et de conflit constructif.
- exploratoire : la discussion est une discussion critique mais constructive laissant une large place à la confrontation des idées argumentée.

Au sein de chacun de ces groupes (“optimistes” et “pessimistes”), Simonneaux *et al.* (2012) rapportent que les élèves s’engagent dans un discours tantôt cumulatif, tantôt exploratoire. En revanche entre les deux groupes, les oppositions sont marquées mais les auteurs n’ont pas noté de conflit entre les élèves. Simonneaux *et al.* (2012) parlent alors de discours disputationnel raisonné comme le fait Mork (2005) .

Pour caractériser la “rationalité” développée dans le discours des élèves, Simonneaux *et al.* (2012) proposent deux catégories :

- une rationalité technoscientifique selon laquelle les technosciences vont résoudre les difficultés de nos sociétés ;
- une rationalité critique impliquant une certaine “réflexivité” face aux technosciences.

Ces auteurs indiquent que le groupe des “optimistes” semblent les tenants d’une rationalité technoscientifique, soulignant que les progrès technoscientifiques permettent aux gens de “vivre mieux” et de créer des richesses. En revanche, le groupe des “pessimistes” mettent en avant dans le débat que la recherche actuelle sert à réparer les dégâts causés par les recherches et les développements antérieurs.

Enfin, Simonneaux *et al.* (2012) analysent la perception du risque des élèves en utilisant les travaux de Douglas (1992). Cette anthropologue a proposé quatre profils d’individus : bureaucratique, individualiste, égalitaire et fataliste[37]. Selon cette catégorisation, Simonneaux

36. Nous nous inspirons ici de l’aperçu proposé par Simonneaux *et al.* (2012).

37. De nouveau, nous nous inspirons ici du compte rendu proposé par Simonneaux *et al.* (2012) pour présenter les profils définis par Douglas :

- Le premier, qualifié de bureaucratique est caractérisé par la confiance dans la hiérarchie, l’adhésion à des valeurs telles que la décence, l’ordre, le respect des lois. La nature est alors perçue comme robuste et capable de s’adapter aux dérangements causés par l’activité humaine à condition de ne pas franchir certaines limites. La perception des risques de ces individus est marquée par une aversion prononcée envers les risques. Toutefois, dans le cas où ces risques sont identifiés, les individus de ce profil font confiance à l’État et aux experts pour trouver un remède.
- Le second profil, qualifié d’individualiste promeut des valeurs telles que la libre entreprise et la réussite individuelle. La nature est perçue comme robuste et systématiquement capable de s’adapter à l’activité humaine. Quant aux risques, ils sont considérés comme une opportunité à saisir pour permettre aux individus de faire leurs preuves. Ces individus éprouvent du respect pour la capacité d’innovation des chercheurs.
- Le troisième profil est qualifié d’égalitaire. Les individus de cet idéal-type adhèrent à des valeurs telles que l’équité, la justice. Ils considèrent que la nature est fragile, que les équilibres naturels sont instables et pourraient être irréversiblement bouleversés. Ils sont opposés aux risques et font preuve d’une certaine méfiance envers les discours officiels.
- Le dernier profil est enfin qualifié de fataliste. Les valeurs de ce groupe sont relativement imprécises et les individus de ce profil expriment un certain fatalisme face à leur condition et aux situations qu’ils rencontrent. La nature est perçue comme imprévisible, les risques comme une sorte de fatalité. Ces individus sont enfin un peu défiants face à la connaissance.

et al. (2012) estiment que les élèves du groupe "optimiste" partagent des traits du profil "individualiste" puisqu'ils ne s'attardent pas sur les risques et soulignent les intérêts économiques du développement des nanotechnologies ainsi que les retombées pour la médecine. Quant au groupe des "pessimistes", ces auteurs les qualifient d'"égalitaires".

Simonneaux *et al.* (2012) ont aussi relevé que le groupe des "optimistes" était constitué par des garçons et celui des "pessimistes" par des filles. Au moment de discuter ces résultats, ces auteurs reviennent sur cette congruence entre genre et prise de position et proposent de tester l'influence du genre dans un débat seulement entre filles et seulement entre garçons. Elles proposent également de documenter l'influence de la culture sur ces résultats et indiquent qu'elles prévoient de tester ce type de protocole avec des élèves de différents pays.

Enfin, Simonneaux *et al.* (2012) ont aussi relevé qu'en dépit des activités sur les nanosciences auxquelles avaient participé les élèves, les connaissances dans le domaine technique n'ont pratiquement pas transparu dans le débat. La discussion a d'ailleurs dépassé le cadre des nanotechnologies et a plutôt questionné globalement le développement des sciences et des techniques.

2.6.3 Discussion

Ces différents textes mettent en lumière différentes approches pour discuter des questionnements soulevés par les développements des nanotechnologies dans l'enseignement secondaire.

Berne fait référence à "l'éthique". Nous voudrions ici souligner le fait qu'il n'existe pas une seule manière de penser les questions éthiques des nanotechnologies. Ainsi, Laurent (2010) qui examine le développement des nanotechnologies aux États-Unis et en France distingue au moins deux grandes tendances :

- celle de "l'éthique-vérité" selon laquelle il est essentiel de disposer de suffisamment de connaissances pour ensuite pouvoir discuter de valeurs et porter des jugements.

- celle de "l'éthique-politique" qui ne vise pas à définir quelles sont les implications éthiques des nanotechnologies, mais tente plutôt de favoriser la pratique réflexive pour susciter des interrogations collectives.

À ces différentes manières de penser l'éthique correspondent de plus des manières différentes de penser la participation politique des citoyens (Laurent, 2010). Par conséquent, quand un auteur appelle à prendre en compte les dimensions éthiques du développement des nanotechnologies, il nous semble pertinent d'identifier la manière de faire de l'éthique qu'il/elle promeut. Ici, il nous semble qu'en appelant à développer la réflexion éthique dès le lycée Berne se positionne ici plutôt dans le courant de ce que Laurent appelle l'éthique-politique. Elle ne propose pas de déléguer la réflexion éthique à des experts mais plutôt de rendre problématique diverses facettes des nanotechnologies. L'objectif qu'elle défend ne nous semble en effet pas d'informer les futurs citoyens pour leur faire comprendre leurs intérêts décidés en dehors d'eux, mais plutôt de les associer à la réflexion sur les décisions à prendre pour modeler les nanotechnologies.

Simonneaux *et al.* (2012) analysent pour leur part un débat entre élèves en termes de perception du risque. Il nous semble ici que ce que ces auteurs entendent sous la terminologie de "risque" est assez flou. Simonneaux *et al.* (2012) rapportent elles-mêmes, lorsqu'elles présentent les nanotechnologies, qu'il existe une diversité de questionnements "éthiques et sociaux" soulevés par ces développements. Elles énumèrent d'ailleurs, en faisant référence à un article de Lewenstein (2005), une série d'interrogations soulevées par les nanotechnologies en matière d'environnement, d'impact sur le marché du travail, d'introduction des nanotechnologies dans les systèmes éducatifs, de protection de la vie privée, de politique nationale et internationale, de propriété intellectuelle et d'amélioration de l'humain.

On peut donc s'interroger : comment ces chercheures articulent-elles cette diversité de questionnements avec le cadrage de leur recherche se concentrant sur la perception du risque ?

Ce choix de problématisation pour analyser les échanges entre les élèves est-il pertinent ?

Le postulat qu'elles avancent pour le justifier, selon lequel la perception du risque va influer sur l'apprentissage et l'attitude des élèves ne nous semble en effet pas convaincant.

Cette manière de problématiser l'étude du discours des élèves en termes de "perception du risque" arrive d'ailleurs alors que de multiples discours sont portés sur les nanotechnologies et sur la façon dont les sciences humaines et sociales peuvent contribuer à façonner ces développements (Voir par exemple Laurent, 2010, p. 57 à 60). La problématisation d'une recherche en éducation en termes de perception du risque n'est donc pas anodine.

Dans un ouvrage intitulé "les politiques des nanotechnologies" où il décrypte les approches "responsables" de l'innovation, Laurent (2010) souligne comment les études sur la perception du risque participent d'une manière particulière de penser la gestion des incertitudes entourant l'apparition des substances nano. Ces approches de la gestion de l'incertitude sont sous-tendues par l'idée qu'en identifiant la manière dont les individus perçoivent le réel, il sera possible d'adapter le discours et éventuellement la manière de gérer le risque pour favoriser l'acceptabilité du développement des nanotechnologies.

Choisir d'étudier la perception du risque sur les nanotechnologies n'est donc pas neutre surtout qu'on retrouve des recherches dans la littérature en éducation marquées par ces approches particulières de gestion de l'incertitude décrites par Laurent (2010). Ainsi Gardner *et al.* (2010) qui cherchent à caractériser la perception du risque d'étudiants dans leurs premières années d'université, mettent explicitement en lien la perception du risque et la résistance que peuvent manifester certains individus au développement de certaines innovations. Ils justifient alors le cadrage de leur recherche en écrivant :

> *"Understanding students' perceptions of the risks and benefits associated with emergent technologies is the first step in integrating risk discourses into science curricula as well as being able to predict how students may perceive new scientific applications and developments".* (Gardner *et al.*, 2010, p. 1953)

Finalement, s'il n'est évidemment pas question d'assimiler la recherche de Simonneaux *et al.* (2012) à une étude se réclamant de "l'innovation responsable" qui viserait à éviter des oppositions aux progrès futurs des nanotechnologies [38] en intégrant la perception du risque du "public" à la gestion du risque, on peut toutefois se demander en quoi analyser la perception du risque des élèves est cohérent avec la visée d'éducation citoyenne assignée à l'organisation de ce débat sur le transhumanisme.

Pour le dire autrement, quelle est la vision des questions politiques posées par le développement des nanotechnologies que partagent et souhaitent véhiculer ces auteurs qui plaident pour une éducation aux sciences citoyennes ?

Enfin, avant de refermer ce paragraphe, nous voudrions revenir sur certains résultats présentés par Simonneaux *et al.* (2012).

Ces chercheurs montrent que les élèves ont élargi le débat pour questionner le développement des technosciences en général. Ici on peut se poser deux questions : quelle est l'influence du matériau fourni aux élèves en préparation du débat et du discours des chercheurs sur ce cadrage des échanges ? Cet effet n'est-il pas inhérent au terme de nanotechnologies lui-même ? Les nanotechnologies regroupent en effet un éventail très divers d'objets et de pratiques hétéroclites. En choisissant de discuter ce que permettent les nanotechnologies et plus particulièrement les projets d'amélioration des performances humaines, les élèves nous semblent avoir été amenés à interroger un programme de recherche, une diversité d'objets et de pratiques

38. D'autant que Panissal *et al.* (2010) affirment qu'ils souhaitent se détacher des initiatives États-Uniennes poursuivant ce genre d'objectif.

aux contours flous et pas seulement une innovation technoscientifique particulière. Le choix de la question discutée nous semble donc peut-être responsable de cette interrogation large sur les technosciences en société.

De plus, Simonneaux *et al.* (2012) rapportent qu'en discutant du caractère souhaitable ou non d'un programme de recherche, les élèves n'ont mobilisé que marginalement les savoirs scientifiques et techniques développés dans la première partie du dispositif. Ce hiatus nous semble essentiellement souligner qu'il existe un décalage entre le niveau de discussion des élèves qui interrogent largement les technosciences et la pratique de laboratoire à laquelle ils ont été mis en contact.

Pour discuter du transhumanisme, les élèves n'ont pas eu besoin de mobiliser l'expertise développée dans la situation contrôlée du laboratoire où ils interrogeaient leur dispositif expérimental pour répondre à une question intéressant les scientifiques. On peut ici faire le parallèle avec ce qu'écrit Stengers (1997) à propos des travaux de Pasteur sur les micro-organismes. Les questions qui intéressent les gens sont : qu'est-ce que c'est qu'être malade ? comment guérir ? Au laboratoire, Pasteur ne répond pas à des questions aussi larges et complexes. Il invente des conditions expérimentales pour tenter de mettre en évidence l'existence de micro-organismes. Cette construction de la preuve bien qu'intéressante et pouvant contribuer à modifier le réel parce qu'elle va être la source d'une modification des pratiques, ne répond toutefois pas aux questions de la maladie et de la guérison.

Ici, il nous semble qu'il se passe quelque chose un peu analogue. Les questions posées au laboratoire par les élèves sur un nanosystème de détection de micro-organismes sont intéressantes mais le pouvoir du laboratoire, pour reprendre les termes de Stengers, ne permet pas de répondre à la question : *"les nanotechnologies peuvent-elles améliorer l'humain et est-ce souhaitable ?"*.

Finalement, il nous semble pertinent de revenir sur la notion "d'interdisciplinarité étendue au sciences humaines" que mettent en avant Panissal *et al.* (2010) lors de la présentation de cette innovation pédagogique. Les deux entités du dispositif éducatif qu'ils ont construits semblent fonctionner indépendamment. On peut alors se demander en quoi ce dispositif permet vraiment cette "interdisciplinarité élargie" ? Est-il nécessaire d'adosser une mise en débat des nanosciences et des nanotechnologies à des pratiques de laboratoire tels que Panissal *et al.* (2010) l'ont proposé aux élèves ?

2.7 Vers notre problématique

Nous arrivons au terme de cet examen de la littérature. Les grands axes de recherche que nous avons identifiés dans les recherches en didactique traitant de l'introduction des nanosciences et des nanotechnologies dans l'enseignement secondaire sont résumés sur la figure 2.4. Ce panorama étant tracé, où nous positionnons nous ?

D'abord, il nous semble fondamental de questionner les objectifs assignés à l'introduction des nanosciences et des nanotechnologies dans l'enseignement secondaire.

Comme nous l'avons noté en introduction, les programmes de développement des nanosciences et des nanotechnologies sont marqués par des visions du futur mais aussi par des principes d'organisation de la recherche mettant l'accent sur l'interdisciplinarité et sur l'importance des partenariats entre organismes de recherche publiques et entreprises (Laurent, 2010). Ils interviennent ainsi à un moment donné, dans un contexte particulier où la production des savoirs est marquée par la compétition et par le souci de valorisation des connaissances notamment au travers des dépôts de brevets. Le mot d'ordre est de développer une "économie de la connaissance", en promouvant à la fois une forme de capitalisme fondée sur la connaissance et une gestion managériale de l'activité scientifique (Bensaude-Vincent, 2009).

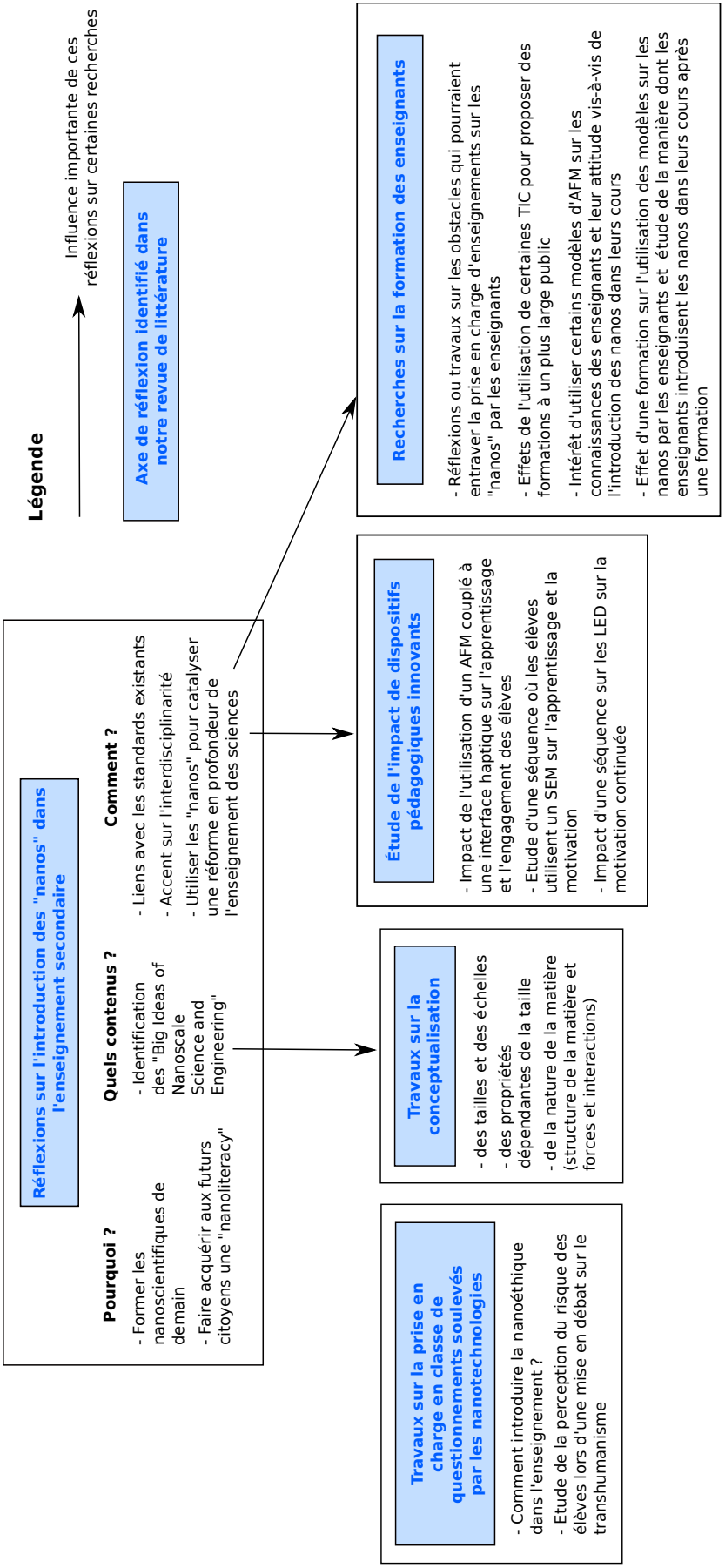


FIGURE 2.4 – Les différents axes de recherche identifiés dans la littérature sur l'introduction des nanosciences et des nanotechnologies dans l'enseignement secondaire

Ces programmes de développement ont par ailleurs une autre caractéristisque : celle d'intégrer le public et les sciences sociales dans les programmes de recherche (Laurent, 2010).

Dans ce contexte, alors que la recherche en éducation est interpelée par l'existence des nanosciences et des nanotechnologies, trois éléments au moins nous incitent à la prudence. D'abord les programmes nanotechnologiques ne constituent pas une réalité fixe et ces développements suscitent des prises de position contradictoires. Ensuite, les gouvernements ont investi parfois largement pour rester à la pointe de l'innovation dans ces domaines. Enfin, les nanotechnologies sont souvent présentées, notamment en France, comme une direction de recherche dans laquelle il faut s'engouffrer sans que les décideurs politiques ne discutent la légitimité de cette assertion (voir par exemple le rapport produit par des sociologues et des responsables d'associations œuvrant à l'appropriation citoyenne de la science (Joly *et al.*, 2005)). Par conséquent, il nous semble que la société dans son ensemble et les chercheurs en éducation en particulier, ont tout intérêt à faire preuve de circonspection face aux exhortations à introduire les "nanos" dans l'enseignement secondaire. Des pressions pourraient être exercées pour muer ces leçons sur les nanosciences et les nanotechnologies en manœuvre d'acceptabilité de ces technosciences.

Ainsi, loin de promouvoir une approche triomphaliste vantant les potentiels mérites des nanotechnologies, nous estimons que le développement des nanosciences et des nanotechnologies est porteur d'enjeux forts que les élèves doivent pouvoir discuter. Il nous paraît donc important de leur donner l'occasion de comprendre ce que sont (ou peuvent être) les nanosciences et les nanotechnologies, qui sont les acteurs impliqués dans ces développements et quels sont les enjeux qui les accompagnent, pour qu'ils puissent lucidement se positionner sur ces questions.

Finalement, quand certains auteurs (Stevens *et al.*, 2009a; Blonder, 2010) suggèrent qu'il est nécessaire d'introduire les "nanos" dans l'enseignement secondaire pour permettre aux élèves d'acquérir une "nano-literacy", nous adhérons à cette prise de position si par nano-literacy, ils entendent fournir aux élèves les outils nécessaires pour comprendre et participer de manière informée aux débats que ces développements génèrent.

Chapitre 3

Éléments théoriques, enjeu éducatif et problématique

Notre volonté de permettre à des élèves de comprendre et de discuter les enjeux dont les développements des nanosciences et des nanotechnologies sont porteurs, nous a conduits à nous rapprocher du mouvement de recherche en éducation sur les "questions socioscientifiques". Par question socioscientifique, nous désignons des questions où se mêlent de façon indissociable aux questionnements scientifiques et technologiques des interrogations "sociales" Sadler (2004). Nous proposons donc ici un bref aperçu de la littérature de recherche s'intéressant à des situations de classe où des élèves étudient des questions socioscientifiques.

Par ailleurs, dans la mesure où nous souhaitions sonder empiriquement quelle forme peut prendre la scolarisation des controverses soulevées par les nanotechnologies, nous avons choisi de travailler en nous appuyant sur les principes guidant les recherches *"design-based"* (The Design-Based Research Collective, 2003). Ces recherches poursuivent une double visée d'élaboration d'environnements d'apprentissage et de mise à l'épreuve de constructions théoriques en éducation, en procédant par cycle de développement de situations pédagogiques, de leur mise en œuvre et de leur analyse. Dans ce cadre, nous avons choisi d'éprouver la théorisation "humble" sur la scolarisation de controverses socioscientifiques proposée par Albe (2007, 2008a). La deuxième partie de ce chapitre est ainsi articulée autour de la présentation de ces deux piliers théoriques sur lesquels nous avons bâti notre étude empirique.

3.1 Les nanotechnologies : une question socioscientifique

3.1.1 Contexte scientifique de l'étude

L'introduction dans les classes d'un objet controversé comme les nanotechnologies ne peut être étudiée en ignorant l'ensemble des réflexions qui traversent depuis quelques années les recherches en didactique des sciences sur les questions socioscientifiques. Notre intérêt pour l'introduction des nanosciences et des nanotechnologies dans l'enseignement secondaire intervient en effet dans un contexte de recherche particulier. En didactique des sciences, depuis plus d'une dizaine d'années déjà, des chercheurs questionnent la manière dont le monde de l'enseignement peut se saisir de questions socioscientifiques controversées pour outiller les futurs citoyens à les affronter (Albe, 2007; Sadler, 2009) [1].

Ces recherches en éducation sur les questions socioscientifiques interviennent elles aussi dans un contexte scientifique spécifique. Albe (2007, 2008a) a identifié plusieurs éléments de ce contexte. Nous en reprenons trois rapidement ici, même si ce paragraphe est évidemment excessivement succinct pour dépeindre en détail cette toile de fond.

1. La revue de littérature de Pedretti et Nazir (2011) essaie aussi de situer le courant des questions socioscientifiques (en anglais socioscientific issues) par rapport aux recherches du mouvement STSE.

D'abord, ces travaux sont menés alors que les études sociales sur les sciences s'efforcent d'analyser les transformations qu'a subies le régime dominant de production des savoirs au cours des 5 derniers siècles. Ces études prêtent notamment attention aux mutations qui ont eu lieu depuis les années 1970 (voir par exemple Pestre, 2003).

Ensuite ces recherches en éducation se développent alors que depuis quelques années, la manière dont les démocraties peuvent prendre en charge les choix scientifiques et techniques, en particulier en situation d'incertitude, constitue aussi une source d'interrogations en sociologie des sciences et de l'innovation (voir par exemple Callon *et al.*, 2001).

Enfin, le développement de recherches en éducation sur les questions socioscientifiques, intervient aussi alors que des débats agitent le monde de la recherche en éducation sur la signification de la notion de culture scientifique, de "scientific literacy" (Laugksch, 2000; Roberts, 2007; Albe, 2011).

Dans ce contexte, comme nous l'avons montré au chapitre 2, la plupart des travaux sur l'introduction des nanosciences et des nanotechnologies [2] dans l'enseignement secondaire abordent cet objet sans tenir compte des controverses qu'elles soulèvent (Hingant et Albe, 2010). Cependant, nous estimons pour notre part, que les questionnements d'ordre politique, social, économique ou éthique sont indémêlables des questionnements scientifiques et technologiques soulevés par les développements des nanotechnologies. Aussi, dans une perspective d'éducation aux sciences se voulant émancipatrice (Driver *et al.*, 2000; Kolstø, 2001a), il nous semble essentiel si l'on souhaite introduire les nanotechnologies dans l'enseignement secondaire de les considérer comme une question socioscientifique.

Ce positionnement nous a conduits à nous rapprocher du mouvement de recherche travaillant sur les questions socioscientifiques. De multiples travaux ont été effectués dans ce courant. Nous allons, dans ce qui suit, proposer un bref aperçu de différentes directions de recherche qui ont pu être identifiées en nous appuyant sur deux états de l'art (Albe, 2007; Sadler, 2009) pré-existants.

3.1.2 Recherches sur les questions socioscientifiques : synthèse de deux états de l'art

Le paragraphe qui va suivre a été élaboré à partir des travaux de Sadler (2009) et de Albe (2007). Nous les avons retenus pour leur qualité et leur rigueur, afin de mieux situer le contexte de recherche en éducation sur les questions socioscientifiques dans lequel s'ancre notre travail.

Dans son travail d'habilitation à diriger des recherches, Albe a réalisé une revue de la littérature où elle fait le point sur les études empiriques en éducation sur les controverses socioscientifiques parues dans des revues francophones ou anglophones. Elle ordonne ces travaux en fonction du type d'approche retenue par leurs auteurs et en distingue cinq catégories :

- Les recherches où l'étude de controverses socioscientifiques vise l'action sociale et l'engagement ;
- Les recherches où l'étude de controverses socioscientifiques vise à permettre aux élèves de comprendre la nature des sciences et d'évaluer les discours des experts ;
- Les recherches où l'étude de controverses socioscientifiques vise à prendre des décisions réfléchies ou argumentées ;
- Les recherches où l'étude de controverses socioscientifiques vise à développer les compétences argumentatives des élèves ;
- Les recherches où l'étude de controverses socioscientifiques vise l'apprentissage de concepts scientifiques dans une visée de culture scientifique.

2. Dans la suite de ce manuscrit, pour alléger le texte, il est possible que nous parlions seulement de "nanotechnologies" au lieu de "nanosciences et de nanotechnologies".

Ces catégories proposées par Albe présentent certains recouvrements avec celles proposées par Sadler. En 2009, cet auteur américain a publié un état de l'art dans la revue *Studies in Science Education* qui se double de réflexions plus théoriques sur l'intégration des questions socioscientifiques en classes de sciences. Sadler estime ainsi que l'étude des questions socioscientifiques à l'école peut permettre le développement d'une "communauté de pratiques" en classe de science qui soit pertinente pour les élèves.

Pour Sadler, une communauté de pratiques est constituée par l'ensemble des humains, des normes culturelles guidant les pratiques et les interactions au sein d'une communauté, ainsi que des outils qui sont liés pour participer à l'accomplissement d'un objectif commun. En se plaçant dans la lignée des approches de la cognition située, Sadler considère que l'apprentissage et le savoir correspondent à la participation à une communauté de pratiques, participation qui passe par un processus d'acculturation. S'interrogeant sur la culture que permet de développer les sciences scolaires, il estime alors que l'éducation aux sciences vise, à l'heure actuelle, le développement d'une culture scolaire sans véritables liens avec le monde extérieur. Il prend alors position en faveur d'une transformation des pratiques de classe au travers de l'étude de questions socioscientifiques, de manière à engager les élèves dans l'exploration de problèmes comprenant une composante scientifique forte, tels qu'ils pourront en rencontrer dans leur vie de citoyen. L'enjeu est selon lui de promouvoir le développement d'une identité d'apprenants se concevant comme contributeurs actifs à l'action sociale.

La revue de littérature qu'il propose vise à explorer comment l'utilisation d'une question socioscientifique en classe de sciences affecte l'apprentissage et les pratiques des élèves. Il distingue cinq dimensions sur lesquelles se sont focalisées les recherches empiriques de son corpus :

- l'intérêt et la motivation des étudiants ;
- le développement de connaissances scientifiques ;
- le développement d'une compréhension de la "Nature de la Science" ;
- le développement d'une réflexion complexe ("higher order thinking") ;
- le développement de communautés de pratiques.

Dans l'aperçu de la littérature que nous allons proposer dans les lignes qui suivent, nous allons nous concentrer seulement, comme le fait aussi Sadler, sur les recherches portant sur des situations de classe.

Par ailleurs, ce que nous souhaitons creuser au travers de notre recherche, c'est la manière dont des élèves de l'enseignement secondaire français peuvent comprendre et s'approprier les enjeux des développements des nanotechnologies. Pour cela, certes leur motivation est importante ; certes certaines connaissances scientifiques sont sans doute nécessaires. Toutefois, l'enjeu éducatif que nous assignons à l'introduction des nanotechnologies dans l'enseignement secondaire va au delà d'une acquisition de connaissances scientifiques ou d'un accroissement de la motivation des élèves à apprendre les sciences. L'enjeu majeur d'une telle introduction nous semble consister à former les futurs citoyens à comprendre les enjeux du développement des "nanos", pour pouvoir ensuite, s'ils le souhaitent, dans leur vie future, participer à façonner, à remodeler ou à infléchir le programme politique du développement des nanosciences et des nanotechnologies. Par conséquent, si nous devions positionner notre recherche par rapport à celles répertoriées par Albe et Sadler, nous la rapprocherions des travaux visant à favoriser l'engagement des élèves dans l'action socio-politique mais aussi de certaines recherches s'intéressant à la manière dont la scolarisation de questions socioscientifiques peut favoriser la compréhension du fonctionnement des sciences et des technologies en société.

Dès lors, dans les paragraphes qui vont suivre, nous donnerons un aperçu croisé des états de l'art élaborés par Albe et Sadler en nous focalisant sur les orientations de recherche qui nous intéressent pour notre travail. Nous présenterons ainsi les recherches explorant comment des élèves comprennent "la nature des sciences" mais aussi les travaux s'intéressant au déve-

loppement d'une réflexion complexe par les élèves. Nous présenterons enfin les travaux qui visent à outiller les élèves pour l'action sociale et politique.

3.1.2.1 Développement d'une compréhension de la nature des sciences

Sadler comme Albe rendent compte de quelques recherches qui s'efforcent de cerner dans quelle mesure l'étude de questions socioscientifiques en classe peut permettre le développement d'une compréhension de la nature des sciences[3]. Selon Sadler, ces recherches sont peu nombreuses. Il écrit d'ailleurs

> *There has been more rhetoric regarding the potential for SSI-related interventions to promote student understandings of nature of science than empirical evidence. (Sadler, 2009, p. 25)*

Cet auteur rapporte néanmoins les résultats obtenus par Walker et Zeidler (2007). Ces auteurs ont étudié les effets d'un module de 7 leçons de 90 minutes sur les OGM utilisant l'environnement virtuel WISE[4] et censé mettre en avant différents thèmes liés à la "Nature de la Science". 36 élèves répartis dans deux classes de niveaux mélangés allant du grade 9th au grade 12th (entre 14 et 18 ans) ont pris part à l'étude. Les auteurs ont utilisé des questionnaires, des évaluations intégrées aux enseignements ainsi que des entretiens et ils ont mis en évidence que les étudiants avaient développé leur compréhension de la "Nature de la Science". Cependant, l'analyse d'un débat ponctuant la séquence pédagogique a aussi montré que les élèves n'avaient pas invoqué des idées liées à la "Nature de la Science" dans la discussion y compris lorsque cela aurait été utile.

L'autre étude sur la "Nature de la Science" que rapporte Sadler a été menée en Israël par Khishfe et Lederman (2006). Ces auteurs ont comparé deux enseignements sur la "Nature de la Science", dispensés à des élèves d'une quinzaine d'années repartis en deux classes (N = 42). Dans l'une de ces classes, ces notions ont été enseignées de manière décontextualisée. Dans l'autre, elles ont été intégrées à des interventions sur une question socioscientifique : le réchauffement climatique. Ces enseignements se sont échelonnés sur 6 semaines et leurs effets ont été étudiés au moyen d'entretiens et de questionnaires pré et post comprenant des questions ouvertes sur la "Nature de la Science" . L'examen de ces données a montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les résultats obtenus dans les deux classes.

De son côté, Albe (2007) rapporte les résultats de recherches en classe portant sur la manière dont les élèves comprennent le fonctionnement des sciences.

Bader (2001, cité par Albe, 2007) a étudié la manière dont des élèves québecois d'environ 17 ans argumentaient et prenaient position lors de discussions en petit groupe sur la question du réchauffement climatique. Cette recherche où les activités proposées aux élèves visent à complexifier leur compréhension du fonctionnement des sciences, leur propose de se confronter à un dialogue fictif entre deux scientifiques tenant de positions discordantes sur le réchauffement climatique puis d'en discuter. La chercheur a ensuite analysé les échanges en s'inspirant de la psychologie discursive britannique. Elle a ainsi montré que les élèves affichaient une sorte de foi dans le progrès et que la controverse étaient interprétée par les élèves comme un problème d'immaturité des sciences sur ces questions. Le désaccord entre scientifiques a par ailleurs été essentiellement interprété en termes d'incompétence, de biais ou d'intérêts dissimulés (Bader, 2003, cité par Albe, 2007). Cette recherche montre ainsi que ces conceptions sur les sciences vues par les élèves comme une activité empirique permettant de lire le réel de manière univoque a contraint le dialogue entre les élèves.

La recherche conduite par Schweitzer et Kelly (2001, cité par Albe, 2007) traite aussi du réchauffement climatique. Les élèves âgés de 17-18 ans participent d'abord à une formation de

3. Sadler reprend lui l'expression de Nature of Science qu'on retrouve souvent au singulier dans beaucoup de publications de didactique.

4. *Web-based Inquiry Science Environment*

9 séances d'une heure trente sur le réchauffement climatique puis à un jeu de rôle organisé sur le modèle d'une conférence de citoyens. Cette formation a pour but d'offrir une présentation plus réaliste des sciences aux élèves. L'argumentation déployée par les élèves lors de ces discussions a été analysée en utilisant une version revisitée du cadre de Toulmin (1958). Les auteurs ont trouvé que certains élèves étaient capables de proposer des interprétations différentes aux données et de mobiliser des explications conceptuelles pour objecter à une interprétation particulière des résultats.

Outre ces deux recherches, Albe fait état du travail de Driver *et al.* (1996) où les élèves participent à des activités sur des questions socioscientifiques qui visent à les amener à prendre en compte la complexité du problème en intégrant d'autres considérations sociales, économiques, politiques et éthiques. Ces chercheurs ont proposé à des élèves d'environ 16 ans d'intrepréter une controverse soit sur la dérive des continents (controverse historique) soit sur l'irradiation des aliments (controverse actuelle) en discutant des désaccords entre scientifiques et des façons de résoudre la controverse. Un peu comme dans la recherche de Bader, l'analyse des transcriptions des discussions entre élèves montre qu'ils attribuent les divergences entre scientifiques à un manque de données ou à la prise en compte de données non fiables. Les élèves perçoivent la science comme une activité empirico-réaliste permettant d'aboutir à une lecture indiscutable du réel. Par ailleurs, Albe rapporte que Driver *et al.* (1996) notent que les élèves semblent assez peu au fait du fonctionnement des communautés scientifiques et qu'ils s'appuient sur leurs propres expériences sociales pour suggérer des manières de résoudre les désaccords entre scientifiques. Ils semblent enfin ne percevoir que de façon marginale comment "la société" pèse sur les orientations de recherche.

3.1.2.2 Développement d'une pensée complexe

L'une des catégories que Sadler distingue pour caractériser les types de problématisation de recherches en éducation sur les questions socioscientifiques s'intitule "*higher-order thinking*", développement d'une pensée complexe. Cette catégorie rassemble des travaux s'intéressant plus spécifiquement à l'argumentation des élèves, au développement de leur jugement réflexif (*reflective judgment*) ou encore de leur créativité (*creativity*).

De son côté, Albe répertorie aussi certains travaux qui portent explicitement sur l'étude de l'argumentation sur des questions socioscientifiques. Elle mentionne aussi certaines études dans lesquelles les auteurs se focalisent sur les prises de décision argumentées d'élèves sur des questions socioscientifiques.

Développement de capacités argumentatives De nombreuses recherches du corpus constitué par Sadler s'intéressent à l'argumentation des élèves. Parmi elles, certaines (Albe, 2008c; Harris et Ratcliffe, 2005) ont mis en évidence certaines difficultés rencontrées par les élèves.

Albe (2008c, cité par Salder, 2009) dont la recherche traite d'un jeu de rôle portant sur la dangerosité des téléphones portables, s'est centrée sur les aspects dialogiques et rhétoriques de l'argumentation des élèves. Ses analyses des transcriptions des échanges entre élèves ainsi que des enregistrements audio de la préparation du jeu de rôle lui ont permis de montrer que des conceptions épistémologiques naïves limitaient leur argumentation.

Harris et Ratcliffe (2005, cité par Sadler, 2009) ont eux étudié un "collapsed day" mis en place dans 8 écoles britanniques et portant sur des questions socioscientifiques. Ils ont eu recours à des observations et à des notes de terrain pour caractériser l'argumentation déployée par les élèves, âgés de 14 à 16 ans. À l'exception des étudiants d'une école, ces auteurs ont relevé une certaine réticence des élèves à exprimer leur opinion et à s'engager réellement dans une discussion argumentée.

D'autres recherches ont mis en évidence l'influence du protocole de discussion sur l'argumentation des élèves.

Simonneaux (2001a,b, 2003, cités par Albe, 2007) a ainsi comparé deux dispositifs de débats mis en place dans deux classes de première S de l'enseignement agricole français : un jeu de rôle et un débat "conventionnel". Dans ces deux cas, les élèves ont discuté du problème de la mise en place d'un élevage de saumons transgéniques. Les opinions des élèves ont été recueillies au moyen d'un pré-test sur la transgénèse animale, puis d'un post-test sur l'élevage de saumons transgéniques. L'examen de ces questionnaires a révélé que les opinions des élèves sur la transgénèse animale différaient suivant le type d'applications, les applications médicales étant les mieux acceptées et les applications agro-alimentaires étant rejetées. Cette auteur a aussi relevé des évolutions dans le positionnement de certains élèves vis-à-vis de l'installation d'un élevage de saumons transgéniques dans les deux types de débat. Par ailleurs, les deux débats ont été filmés et l'argumentation déployée par les élèves dans les échanges a été analysée. Cette analyse a révélé que les argumentations des élèves étaient plus complexes dans le cadre du débat "traditionnel" et que les élèves y abordaient spontanément plus de thèmes que dans le jeu de rôle. Simonneaux a de plus constaté que les élèves maniaient davantage l'ironie et la provocation dans le jeu de rôle. Dans ce dernier type de débat, certains élèves semblent avoir été gênés de devoir porter à l'oral une opinion qui n'était pas la leur. Simonneaux note enfin que certains élèves semblent avoir été influencés par les interventions de l'enseignant qui participait au jeu de rôle.

Dans une autre recherche, Molinatti (2005, cité par Albe ; 2007 ; 2010) a aussi étudié la pratique du débat d'élèves français de première S discutant de l'utilisation de cellules souches embryonnaires lors de leur venue (pendant trois jours) dans un centre de médiation scientifique et technique. Molinatti s'est ainsi intéressé à l'impact de la rencontre avec un ou deux experts (un scientifique ou bien un scientifique et un représentant d'une association de malades) sur l'argumentation des élèves. Les opinions des élèves sur l'utilisation de cellules souches dans un contexte de recherche et dans un contexte thérapeutique ont été recueillies avant et après la venue des élèves. L'analyse de l'argumentation des élèves lors d'un débat qui a suivi la rencontre avec les experts a montré que dans les deux situations, les élèves mobilisaient essentiellement des arguments relatifs aux aspects scientifiques plutôt qu'aux aspects éthiques et sociaux. Dans le cas d'une double expertise, la participation des élèves a été renforcée et ils ont élargi leur argumentation en évoquant les questions de financement de la recherche et les aspects législatifs. L'auteur a également noté dans les propos des élèves la manifestation d'une sorte d'idéologie du progrès renforcée dans le cas d'une double expertise. Il pointe alors un éventuel effet de protocole dû à la rencontre avec le scientifique et à un effet de contexte dû au lieu du débat.

Hormis ces études, d'autres recherches répertoriées par Sadler et s'intéressant, entre autres, à l'argumentation des élèves au travers de l'étude de questions socioscientifiques montrent que ce type d'interventions peut avoir des effets positifs sur la qualité des pratiques argumentatives des élèves.

Ainsi Dori *et al.* (2003, cités par Sadler) se sont intéressés à l'argumentation des élèves dans une recherche sur un module de biotechnologie dispensé dans 8 écoles israéliennes. Ce module est articulé autour d'études de cas dans lesquels les dimensions éthiques sont importantes. Les auteurs de cette recherche ont évalué plusieurs dimensions liées au développement d'une pensée complexe. Ils se sont ainsi intéressés à la qualité de l'argumentation des élèves en utilisant leurs réponses à des pré et post tests comprenant des questions ouvertes et de leur analyse des études de cas ; ils ont étudié les questions soulevées par les élèves. Ils ont enfin cherché à caractériser le développement d'une pensée systémique chez les élèves, à savoir, d'après ces auteurs, comprendre comment la science et la société s'influencent l'une l'autre. Dori *et al.* (2003) ont trouvé que les élèves progressaient sur chacun de ces trois aspects. Ces

chercheurs ont par ailleurs réparti les étudiants en fonction de leur niveau de réussite à l'école (bas, moyen, haut). Ils ont aussi constaté que le groupe des élèves ayant des difficultés en classe progressait plus que les autres.

Outre ces travaux, Sadler rend compte d'études où l'argumentation a été considérée comme un objectif d'apprentissage explicitement attribué à l'intervention pédagogique. Tal et Hochberg (2003) ont travaillé sur un module pédagogique sur la malaria utilisant l'environnement WISE et proposé à 139 élèves de trois lycées. Ces auteurs ont utilisé des pré et post questionnaires sondant les raisonnements des élèves, leurs prises de décision et leur capacité à résoudre des problèmes. Ils ont aussi analysé les porte-folios réalisés par groupes de deux ou trois élèves. Les résultats obtenus laissent penser que les performances argumentatives des élèves ainsi que leurs capacités à formaliser des pensées complexes se sont développées au travers des activités du module.

Dans une autre recherche, Tal et Kedmi (2006) se sont penchés sur l'argumentation de 128 élèves israéliens âgés de 16-18 ans, répartis dans six classes différentes, dans le cadre d'activités portant sur des problèmes environnementaux. Ces auteurs ont mené des entretiens avec les enseignants et avec certains élèves, et ils ont effectués des observations de terrain. L'analyse de ces données leur a permis d'affirmer que les capacités à argumenter des élèves s'étaient améliorées au cours de l'enseignement qui leur avait été dispensé.

Grace (2009) a également documenté l'impact d'une intervention traitant de la préservation de certaines espèces sur l'argumentation et la manière de raisonner de 131 étudiants de 15-16 ans. S'appuyant sur l'analyse de questionnaires pré/post et d'enregistrements audio des discussions en groupes, cet auteur a montré que cette intervention, malgré sa courte durée avait permis une amélioration substantielle de l'argumentation de plusieurs étudiants (67). Par ailleurs, les discussions en groupes ont montré que le contenu de l'argumentation changeait de façon importante au travers des discussions des élèves avec leurs camarades.

Une étude menée en 1999 par Pedretti à laquelle ont participé des élèves de 10-12 ans prenant part à un ensemble d'activités sur l'exploitation de ressources minières (jeu de rôle, recherches personnelles, débats, excursion dans un musée) a également montré que ce type d'expérimentation pédagogique pouvait avoir un effet bénéfique sur la capacité des élèves à considérer de multiples perspectives sur le problème à l'étude. L'auteur a pour cela eu recours à des notes de terrains et à une série d'entretiens avec les étudiants et les encadrants. Ces données ont aussi permis à cette auteur de mettre en évidence le fait que les élèves intégraient des considérations éthiques à leur réflexion débouchant sur leur prise de décision.

Enfin, Zohar et Nemet (2002, cité dans ce cadre par Sadler, 2009) ont étudié l'argumentation et le raisonnement déployés par des élèves israëliens de 9th grade (âgés d'environ 15 ans) lors d'enseignements de génie génétique en classe menés soit en suivant une approche traditionnelle (N = 87), soit en explorant une question socioscientifique (N = 99). Dans ce dernier cas, les élèves suivaient aussi une formation à l'argumentation. Pour juger de la qualité de l'argumentation des élèves, ces auteurs ont étudié les discussions entre élèves, leurs productions écrites et ils leur ont fait passer des tests avant et après la participation aux activités. Ils ont analysé ces données en s'appuyant sur les travaux de Toulmin (1958) et Kuhn (1991) ce qui leur a permis de mettre en évidence une amélioration notable des pratiques argumentatives individuelles. Ils ont aussi noté une amélioration de la qualité des discussions en groupes pour les élèves ayant suivi un curriculum centré sur une question socioscientifique et un enseignement spécifique de l'argumentation.

Deux autres recherches répertoriées par Albe (2007) s'intéressent aussi aux capacités argumentatives des élèves après qu'ils aient suivi un enseignement portant explicitement sur l'argumentation (Osborne *et al.*, 2004; Simonneaux et Simonneaux, 2005). Les résultats ne sont pas homogènes.

Dans l'étude menée par Simonneaux et Simonneaux (2005), les élèves travaillent sur les

OGM, ils étudient des textes et s'engagent dans un débat. Un groupe témoin reçoit une formation à l'argumentation, un autre non. Les auteurs étudient la qualité de l'argumentation écrite des élèves par le biais de pré et post tests. Ceux-ci montrent qu'elle ne varie pas pour le groupe "témoin" et qu'elle varie peu pour le groupe ayant suivi la formation à l'argumentation. Simmoneaux et Simmoneaux étudient également la qualité des arguments échangés lors du débat ainsi que le domaine auxquels ils se réfèrent. Les résultats montrent que les élèves mobilisent rarement des connaissances scientifiques. Leurs arguments se rapportent ainsi essentiellement aux domaines politique et économique. Les auteurs notent également que les élèves s'appuient à l'oral sur les textes qui leur ont été fournis mais suggèrent aussi que leur argumentation est marquée par leur engagement politique, par leurs résultats scolaires et par des effets de leadership.

Osborne *et al.* (2004) quant à eux, sont partis du principe que des formations ponctuelles à l'argumentation étaient insuffisantes et qu'il était nécessaire de former les enseignants à l'argumentation pour renouveler les pratiques pédagogiques et favoriser l'introduction de l'argumentation dans les classes de sciences. 12 enseignants ont participé à leur recherche. Ils ont suivi une formation à l'argumentation pendant un an où ils ont développé du matériel pédagogique adapté. L'année suivante, ces enseignants ont mis en œuvre ces activités avec certains de leurs élèves, âgés de 12-13 ans pendant au moins 9 leçons mettant l'accent sur l'argumentation pour enseigner des contenus scientifiques. Avec d'autres élèves, ces enseignants ont aussi enseigné leurs cours de manière "traditionnelle" (groupe témoin). Ces élèves "témoins" ont cependant participé à deux activités sur des questions socioscientifiques, l'une en début d'année, l'autre en fin d'année. Les échanges entre élèves ont été enregistrés. L'analyse de l'argumentation a montré que les élèves du groupe expérimental argumentaient plus que ceux du groupe témoin. Les épisodes argumentatifs étaient par ailleurs plus fréquents lorsque le thème des leçons relevait d'une question socioscientifique que lorsqu'il s'agissait seulement de contenus scientifiques. Enfin, la qualité de l'argumentation s'est améliorée au cours de l'année pour les questions socioscientifiques alors qu'elle n'a pas variée pour les contenus scientifiques et ce, pour le groupe expérimental comme pour le groupe témoin.

Outre ces recherches s'intéressant à l'influence de l'étude de questions socioscientifiques sur le développement des capacités argumentatives des élèves, Albe distingue certaines études axées plus particulièrement sur les prises de décision réfléchies ou argumentées sur une question socioscientifique.

Des recherches centrées sur la prise de décision réfléchie ou argumentée Parmi ces recherches prêtant une attention particulière aux prises de décision des élèves, trois sont centrées sur les éléments auxquels les élèves se réfèrent dans les discussions précédant les prises de décisions.

Lewis *et al.* (1999, cité par Albe) ont proposé à soixante élèves de 15-16 ans une situation pédagogique d'une durée d'un peu plus d'une heure sur le dépistage pré-natal de la mucovisidose. Cette séance s'articule autour du visionnage d'une vidéo sur la mucovisidose, de l'écoute d'un enregistrement sur une situation fictive d'un couple devant décider de passer ou non un dépistage prénatal, puis de discussions entre élèves sur les options du couple et la décision qu'ils devraient prendre. L'examen des fiches remplies par les élèves et l'analyse de leurs échanges montrent qu'ils ont, une bonne compréhension des concepts scientifiques sur la mucovisidose après le visionnage de la vidéo. Quelques groupes ont des difficultés avec les concepts de génétique et de cellule. Enfin, lors de la prise de décision, les élèves ont quasiment tous pris en compte divers éléments : l'anxiété des parents, les problèmes de fiabilité du test, les risques pour l'enfant et le bon déroulement de la grossesse.

Levinson (2004, cité par Albe, 2007) s'est lui penché sur les échanges et les prises de décisions d'une vingtaine d'élèves de 16-19 ans lors de discussions entre eux et avec leur en-

seignante, dans le cadre d'enseignements de bioéthique. La discussion porte sur les problèmes éthiques posés par le dépistage de maladies héréditaires. Les échanges, qui ont eu lieu pendant quatre séances de deux heures, ont donné lieu à des enregistrements et le chercheur a conduit des entretiens avant et après la séance avec l'enseignante, dans le métier depuis plus de vingt ans. Les résultats montrent que les échanges entre élèves semblent avoir accentué le flou sur certaines notions scientifiques notamment sur la distinction entre gènes et chromosomes. Par ailleurs, les interventions de l'enseignante semblent avoir eu tendance à restreindre la dimension éthique de la discussion et son attitude autoritaire a parfois entravé le dialogue suscitant l'agacement des élèves puis la clôture de l'échange par l'enseignante.

Une autre étude rapportée par Albe et menée par Kolstø (2001b) traite elle de la confiance accordée par 22 élèves âgés de 16 ans à diverses sources d'information, alors qu'ils étudiaient une question socioscientifique en lien avec le contexte local : l'effet du champ magnétique émis par les lignes électriques haute tension sur le développement de leucémies. L'auteur a mené des entretiens semi-directifs avec les élèves, suite à deux activités en classe. Pendant la première les élèves ont étudié des articles de journaux, des rapports de recherche et des documents officiels ; pendant la seconde, ils ont pris part à discussion en petits groupes (3 à 5 élèves). L'analyse des entretiens montre que les élèves interrogés considèrent tous le fait qu'il n'y ait pas de consensus entre les chercheurs. Un peu plus de la moitié reviennent sur le fait que certaines sources pourraient être biaisées. Kolstø (2001b) s'intéresse alors aux stratégies de résolution de ces problèmes pour prendre une décision. Il en distingue quatre. Les deux premières concernent le contenu l'assertion : les élèves peuvent en accepter certaines ou les évaluer. Pour évaluer le contenu d'une affirmation, les élèves ont tous utilisé un ou plusieurs critères. Ceux identifiés par Kolstø sont l'accord entre les chercheurs ; le fait que l'assertion relève de leur champ d'expertise ; le fait qu'un chercheur change sa conclusion ; le fait qu'un chercheur veuille garantir la fiabilité de ses résultats ; la forme des résultats ; la compatibilité avec les connaissances en lesquelles les élèves ont déjà confiance ; la qualité de la recherche (même si cette catégorie est plus floue). Certains élèves rendent aussi explicite l'importance qu'ils accordent au fait de penser par eux-mêmes.

Les deux autres stratégies identifiées par Kolstø portent sur la confiance que les élèves ont en différentes autorités. Les élèves peuvent ainsi faire confiance à l'autorité ou bien l'évaluer. Dans ce dernier cas, Kolstø a relevé quatre critères mobilisés par les élèves pour effectuer cette évaluation : l'opinion de la source sur le risque ; les intérêts de l'acteur ; sa compétence ; sa neutralité. Dans ce dernier cas, Kolstø conclut que les élèves donnent l'impression de rechercher des autorités neutres, qu'il leur est difficile de savoir lesquelles le sont, même s'ils croient en la possibilité que certaines le soient.

Albe rend également compte de certains travaux dont elle précise qu'ils s'intéressent à la prise de décision d'élèves qui ont suivi un enseignement adressant explicitement le processus de décision. C'est le cas d'une recherche menée par Ratcliffe (1997, cité par Albe, 2007) où cette auteur étudie la prise de décision d'élèves de 15 ans à propos de scénarios socioscientifiques qu'Albe (2007) qualifie de "faiblement ou moyennement chargés sur le plan émotionnel" (p. 131). Les données recueillies comprennent les documents remplis par les 93 élèves participants, des discussions en petits groupes de 3 à 5 élèves et des entretiens avec 37 élèves. L'auteur a également ajouté à ce corpus 15 entretiens à deux mois d'intervalle avec les élèves dont les discussions ont été étudiées. Les résultats qu'a livrés son analyse soulignent que les élèves se sont montrés capables d'identifier différentes options possibles ; qu'ils ont cherché peu d'information ; qu'ils identifiaient assez bien des critères sur lesquels fonder leur décision mais qu'ils éprouvaient des difficultés à les mettre en œuvre dans leur raisonnement. Les élèves ont de plus peu utilisé leurs connaissances scientifiques pour leur prise de décision. Enfin Ratcliffe a également trouvé que la plupart des élèves ne revenaient pas de manière critique sur leur décision une fois prise.

Dans un autre article également mentionné par Albe, Grace et Ratcliffe (2002) se sont intéressés entre autres choses aux concepts scientifiques et aux valeurs mobilisés par les élèves âgés de 15-16 répartis dans 4 classes différentes, pour discuter de problèmes de préservation d'espèces animales. L'analyse de l'enregistrement des discussions entre élèves a montré qu'ils avaient recours à certains concepts scientifiques dans les discussions mais que les considérations ayant trait à des valeurs (respect de la vie, droit des animaux, valeurs utilitaires comme des considérations esthétiques...) étaient dominantes dans la plupart des groupes.

Enfin, Kortland (1996, cité par Sadler, 2009 et Albe, 2007) a conçu une séquence pédagogique traitant de gestion des déchets et de recyclage. Ces activités ont été mises en œuvre puis raffinées avant d'être re-proposées à des élèves néerlandais. L'auteur s'est focalisé sur l'étude des prises de décisions et de l'argumentation des élèves. Il a pour cela réalisé des entretiens avec 8 élèves, mené des observations en classe et distribué des questionnaires. L'analyse des données récoltées a montré que le module avait eu peu d'effets sur les pratiques argumentatives des élèves aussi bien en termes de clarté que de validité des critères utilisés dans l'argumentation. Cet auteur a toutefois mis en évidence une augmentation de la fréquence de la mobilisation de concepts sur les déchets dans l'argumentation au fur et à mesure de l'activité.

Créativité Outre ces recherches documentant l'effet de l'étude de questions socioscientifiques sur l'argumentation des élèves, Sadler a aussi relevé que certains travaux s'intéressaient à l'influence de ce type d'activité sur la créativité des élèves comprise comme leur capacité de questionnement, de raisonnement, et d'imagination des conséquences.

Yager *et al.* (2006) ont travaillé avec deux enseignants de middle school israélienne (élèves âgés de 12-15 ans). Pendant un semestre, un des professeurs a organisé son enseignement autour de l'exploration d'une question scientifique controversée : le choix d'un site pour l'installation d'une décharge ; l'autre a suivi le curriculum traditionnel. Ces auteurs ont prêté une attention particulière à la créativité des élèves. Leurs observations de classe leur ont permis d'affirmer que les élèves ayant suivi un enseignement sur des questions socioscientifiques faisaient preuve d'une plus grande créativité que le groupe témoin. Lee et Erdogan (2007) ont eux aussi trouvé ce type de résultat dans le cadre d'une recherche menée auprès d'élèves coréens de middle (12-15 ans) et high school (15-18 ans). Dans cette recherche, certains élèves ont suivi un curriculum "Science Technology Society" et d'autres un curriculum scientifique "traditionnel". Lee et Erdogan ont alors montré que les scores des élèves à un pré et post test évaluant leur créativité évoluaient significativement pour les élèves ayant suivi un enseignement sur les questions socioscientifiques, alors que les résultats du groupe témoin ne pas variaient pas.

"Jugement réflexif" Enfin, alors qu'il s'intéresse aux études traitant du développement d'une pensée complexe par les élèves, Sadler rapporte le résultat obtenu par Zeidler *et al.* (2009). Au travers d'une recherche portant sur les effets d'un "curriculum socioscientifique" s'étalant sur une année scolaire, ils ont étudié le développement du "jugement réflexif" (*reflective judgment*) des élèves entendu comme une construction devant mesurer le "développement épistémologique" (*epistemological development*) des élèves. Pour évaluer les évolutions dans le jugement réflexif des élèves, ces auteurs ont utilisé des entretiens au cours desquels l'élève interviewé devait d'abord lire un scénario puis répondre à une série de 7 questions standard posées par le chercheur, l'encourageant à décrire son positionnement et à le justifier. L'analyse de ces données a montré qu'il existait des différences significatives tant qualitatives que quantitatives dans la manière dont les élèves ayant suivi les enseignements sur des questions socioscientifiques avaient répondu au fil de l'année à ces entretiens ; différences qu'on ne retrouvait pas chez ceux ayant suivi un curriculum scientifique "traditionnel".

Prises dans leur ensemble ces recherches montrent ainsi que l'utilisation d'activités en classe sur des questions socioscientifiques peut, sous certaines conditions, contribuer à favoriser le développement d'une pensée complexe chez les élèves. Ces capacités à prendre des décisions réfléchies, à argumenter, à raisonner, à considérer divers facettes d'un problèmes sont considérées par les auteurs de ces recherches comme utiles au citoyen qui sera confronté tout au long de sa vie à des problèmes de société complexes ayant une composante scientifique ou technologique. D'autres recherches vont toutefois plus loin et visent explicitement l'engagement des élèves dans des communautés de pratiques et/ou dans l'action socio-politique.

3.1.2.3 Engagement dans l'action socio-politique et développement de communautés de pratiques

Dans sa revue de littérature Sadler rapporte les résultats obtenus dans deux études qui ont amené les élèves à constituer des communautés de pratiques et à s'engager dans la résolution de problèmes socioscientifiques locaux.

Il mentionne les travaux de Roth et Lee (2004) qui ont mené une étude ethnographique s'étalant sur 3 ans durant lesquels 3 classes de 7ème grade (12-13 ans) ont étudié la qualité de l'eau et les problèmes environnementaux de la baie de Hudson. Les chercheurs ont eu recours à des enregistrements vidéo, des entretiens. Ils ont également recueillis les productions des étudiants. Au fil de leur étude, ils ont encouragé les élèves à étudier le problème au cœur de l'activité en choisissant les données à collecter ainsi que leurs outils de représentation. Ils ont noté que cela avait pour conséquence d'augmenter substantiellement l'intérêt des étudiants et leur participation, et que ceux-ci ne considéraient alors plus la science comme un simple artefact scolaire.

Dans cette même veine, Sadler mentionne le travail de Hogan (2002b) qui, comme le souligne cette auteur, montre que placer des élèves dans un contexte authentique n'assure pas l'apprentissage. Hogan utilise la notion de communauté de pratiques liée à une question socioscientifique pour étudier l'apprentissage, l'implication et les activités d'un groupe d'élèves. 5 d'entre eux ont travaillé en classe sur l'état d'une voie navigable locale et 9 ont travaillé au sein d'une agence environnementale locale investie dans un certain nombre d'actions portant, entre autres, sur la voie navigable au cœur du travail des autres élèves. L'analyse des données recueillies (notes de terrains, enregistrements vidéo, entretiens et productions des élèves) a permis à Hogan de comparer les deux communautés de pratiques qui se sont mises en place. Dans le cadre scolaire, cette auteur a noté que les élèves utilisait un langage plus complexe que les autres. En revanche les élèves travaillant dans l'agence environnementale avaient fait usage de ressources plus diverses et plus sophistiquées. Elle souligne également l'existence d'une tension entre les besoins de l'agence et les besoins des étudiants en matière d'apprentissage.

De son côté, Albe met en avant que certaines recherches visent l'action sociale et politique [5]. Là aussi, l'idée sous-jacente est d'engager les élèves dans la résolution de problèmes authentiques pour former des citoyens critiques. Elle distingue deux situations. Dans la première, qui peut, nous semble-t-il, être rapprochée de l'idée de développement d'une communauté de pratiques prônée par Sadler, les élèves participent à une controverse "réelle" (Patronis *et al.*, 1999; Jiménez-Aleixandre et Pereiro-Muñoz, 2002, cités par Albe). Dans la seconde, ils travaillent sur des situations hypothétiques (Larochelle et Désautels, 2001; Pedretti, 1999; Hogan, 2002a, cités par Albe).

5. Il nous semble qu'une des différences entre la manière dont Albe et Sadler catégorisent les recherches dont ils rendent compte, a trait à l'accent que place Albe sur la dimension politique. Sadler nous semble lui mettre plutôt en avant le fait que ces travaux permettent aux élèves de construire des savoirs qui aient du sens. Ces objectifs ne sont toutefois pas antagonistes, loin de là... Mais l'angle d'approche est différent.

L'étude menée par Jiménez-Aleixandre et Pereiro-Muñoz (2002) affiche un objectif de formation à la participation de citoyens informés prêts à s'engager dans l'élaboration d'une expertise citoyenne. Elle place des étudiants de high school âgés de 17 à 21 ans et prenant part à des cours du soir, dans le rôle d'experts devant produire un rapport évaluant l'impact d'un projet d'aménagement d'une rivière au moyen d'un réseau de drains près de leur école. Pendant 16 séances, les élèves construisent leur expertise puis la séquence s'achève d'abord sur une mise en débat en classe entière puis par un débat avec d'autres experts travaillant sur le projet (ingénieur et représentant d'une association environnementale). Les auteurs ont étudié l'argumentation des élèves pour identifier les notions et les habiletés mobilisées par les élèves pour prendre leurs décisions. Les résultats montrent que les étudiants s'appuient sur des données et des concepts scientifiques ainsi que sur des valeurs pour argumenter. Le projet d'aménagement de la rivière a d'ailleurs été modifié suite au débat avec les experts, sans toutefois qu'il soit possible d'imputer avec certitude ces changements aux critiques formulées par les élèves.

Toujours dans l'idée de former les élèves à l'action socio-politique, la recherche menée par Patronis *et al.* (1999) auprès d'élèves grecs âgés d'environ 14 ans s'est articulée autour de la construction d'une route et visait à former les élèves aux débats publics et à la prise de décision en démocratie. Les élèves qui ont travaillé sur ce thème pendant 6 semaines ont choisi une solution après délibération qu'ils ont envoyée à la mairie. Les chercheurs ont centré leur étude de ce dispositif sur l'argumentation des élèves lors des discussions en classe entière et lors d'entretiens individuels. Ils ont pour cela utilisé le cadre d'analyse de Toulmin (1958) et ont montré que les élèves avaient formulé des arguments valides aussi bien pour étayer que réfuter les propositions qu'ils avaient développées. Les arguments impliquant des valeurs indviduelles ou socialement partagées ont donné lieu à des oppositions binaires. Enfin Patronis *et al.* (1999) suggèrent que les expériences personnelles des élèves, leurs liens personnels avec le problème et leur investissement personnel dans l'élaboration des solutions ont contribué à cette qualité de l'argumentation des élèves.

Dans ces deux études c'est à la résolution de problèmes environnementaux locaux que les chercheurs proposent aux élèves de participer. Dans la recherche de Pedretti (1999) à laquelle nous avons déjà fait référence et où les élèves travaillent sur la situation d'exploitation d'une mine, le problème environnemental est en revanche fictif. Les activités pédagogiques proposent toutefois aux élèves de s'exercer à l'action sociale en prenant part à un débat public simulé et elles visent à les amener à questionner les développements scientifiques et technologiques en prenant conscience de leurs enjeux sociaux et politiques. D'après Albe, les résultats de cette recherche indiquent que des élèves de 10-12 ans sont capables de s'engager dans des prises de décisions sur des questions socioscientifiques en invoquant les notions de bien et de juste, mais aussi en repérant *"des forces sociales et politiques en jeu"* pour reprendre l'expression de cette auteur.

Dans une autre recherche, menée par Hogan (2002a), il s'agit de nouveau de placer les élèves dans le rôle de citoyens capables de s'engager dans des prises de décisions sur des questions environnementales. Cette étude fait partie d'une série de travaux impliquant 24 élèves, âgés de 13-14 ans dont fait aussi partie la recherche répertoriée par Sadler (Hogan, 2002b). Dans cette recherche, les élèves ont participé à une activité par groupes de trois où ils devaient tenir compte des informations d'ordre économique et écologique pour produire une recommandation destinée à un sénateur, à propos du vote d'une législation sur l'introduction d'un parasite dans l'Hudson River pour détruire une espèce de moules invasive. Lors des discussions, Hogan (2002a) a repéré des jugements de valeurs et des allusions aux incertitudes. Cette auteur a aussi conduit un entretien avec un expert en écologie marine dont elle a confronté le contenu avec les interventions des élèves. Elle a ainsi mis en évidence que les élèves avaient considéré l'ensemble des dimensions prises en compte par l'expert. Toutefois, les élèves s'étaient concentrés souvent sur l'une ou sur deux d'entre elles et n'avaient examiné

que de façon hâtive les autres dimensions du problème. Par ailleurs, l'analyse des données a aussi révélé que les élèves n'utilisaient pas de façon pertinente leur interprétation des données et ne considéraient pas de preuves contradictoires. L'auteur suggère que de la maîtrise de certains concepts de base en écologie pourrait permettre aux élèves de mieux analyser les informations pour prendre des décisions liées à des problèmes environnementaux.

Enfin, la recherche de Larochelle et Désautels (2001) s'appuie également sur des situations hypothétiques. Elle a aussi pour objectif de contribuer à permettre aux élèves de participer à la reconfiguration de nos sociétés contemporaines, au travers d'une éducation scientifique tenant compte des enjeux de pouvoirs et des enjeux socio-éthiques associé à des questions socioscientifiques. Ces auteurs ont proposé à des étudiants âgés d'environ 18 ans de discuter de différents points de vue sur l'utilisation des travaux de recherche de médecins nazis sur l'hypothermie et la manipulation génétique d'êtres vivants. Pour cela, ils ont élaboré et soumis aux élèves travaillant en groupe de trois ou quatre, des conversations fictives reprenant les principaux arguments sur ces thèmes, en s'efforçant de respecter l'équilibre idéologique des différentes thèses soutenues. Les résultats de l'analyse des discussions indiquent que le dialogue entre pairs tend à favoriser la complexification des opinions des élèves. Ceux-ci dissocient l'épistémologie des aspects éthiques qu'ils regardent, selon ce que rapporte Albe (2007) comme "un supplément d'âme" (p. 112) pris en compte une fois les savoirs scientifiques produits. Finalement, si les élèves s'engagent de la critique des points de vue de leurs camarades, ils semblent beaucoup plus timides lorsqu'il s'agit de critiquer la rationalité et le désintéressement des pratiques scientifiques et des scientifiques eux-mêmes.

3.1.3 Vers notre problématisation

Ce passage en revue de recherches sur l'étude en classe de questions socioscientifiques nous permet d'affiner notre positionnement.

Plusieurs des recherches s'intéressant à "la nature des sciences" auxquelles nous avons fait allusion ici proposent aux élèves de s'intéresser aux désaccords entre scientifiques. Cependant, dans le cas particulier des nanotechnologies, ce type d'approche pour étudier la controverse nous semble discutable. Les nanotechnologies regroupent une diversité d'objets de recherches et de développements technologiques. Choisir de centrer l'étude de la controverse sur des pratiques de laboratoire ou sur la négociation des désaccords entre scientifiques impliquerait donc de nous concentrer sur certaines facettes particulières des "nanos".

De plus, comme nous l'avons noté dans les chapitres précédents, les programmes de développement des nanotechnologies intéressent une pluralité d'acteurs et pas seulement les scientifiques. Par conséquent, pour permettre aux élèves de comprendre les enjeux des développements des nanotechnologies, il nous semble pertinent de ne pas restreindre l'aperçu donné aux élèves aux discours des scientifiques sur les nanotechnologies (et à leurs éventuels désaccords) mais plutôt de leur proposer d'examiner les discours d'une pluralité d'acteurs participant à la controverse.

Par ailleurs, parmi les travaux portant sur l'étude de controverses socioscientifiques pour l'action socio-politique, plusieurs proposent aux élèves d'explorer d'une controverse qui se développe à un niveau local (par exemple Jiménez-Aleixandre et Pereiro-Muñoz, 2002, Patronis *et al.*, 1999, Hogan, 2002a cités par Albe, 2007 ou encore Roth et Lee, 2004 et Hogan, 2002b cités par Sadler, 2009). Dans le cas des nanosciences et des nanotechnologies, nous souhaitons amener les élèves à se saisir d'un problème a priori plus vaste. La focale retenue pour étudier la controverse est donc différente par rapport à ces recherches.

De plus, bien que nous souhaitons équiper les élèves d'outils intellectuels pour s'emparer des controverses soulevées par les développements des nanotechnologies, nous n'avons pas pour objectif de permettre immédiatement un engagement social et politique des élèves, dès leur participation aux activités que nous leur proposerons. Nous laissons cela en dehors de l'école, laissant la liberté aux élèves de s'engager ensuite s'ils le souhaitent comme acteurs de

la controverse.

Toutefois, malgré ce choix d'échelle et ce choix relatif à la temporalité de l'action socio-politique, notre objectif nous semble converger avec celui de ces recherches qui s'intéressent à l'étude des controverses socioscientifques pour une citoyenneté active et critique. À la suite de Larochelle et Désautels qui plaident pour une initiation des élèves à la "politique des technosciences" (Larochelle et Désautels, 2006), nous souhaitons permettre aux élèves de s'emparer des questionnements soulevés par les nanotechnologies et ce,

> *"afin qu'ils puissent d'une part développer un intérêt, une capacité de dire, comme le formule Stengers (2001), "cela m'intéresse", au sens de "je fais partie de ceux que cela regarde" (p. 169) ; et d'autre part, prendre conscience de leur pouvoir d'influer le cours des choses en s'engagent notamment dans les débats entourant des questions qui sont à la fois socialement vives et controversées".* (Larochelle et Désautels, 2006, p. 62)

3.2 Ancrages théoriques

3.2.1 L'approche des recherches "*design-based*"

Notre travail s'intéresse ainsi à la manière dont il est possible de scolariser les controverses soulevées par les nanosciences et les nanotechnologies, tout en attribuant à l'éducation aux sciences la mission de contribuer à outiller les citoyens aux enjeux socio-politiques des développements technoscientifiques.

Il vise donc à produire à la fois des savoirs pour la recherche en éducation mais aussi à documenter empiriquement si et comment il est possible d'explorer en classe des controverses soulevées par les nanotechnologies, sans renier cette finalité de formation socio-politique du citoyen au travers de l'éducation aux sciences, et ce, en s'accommodant des réalités du monde scolaire.

De ce fait, nous avons choisi d'ancrer notre étude dans le mouvement des recherches *design-based* (Design Based Research Collective, 2003 ; Cobb, Confrey, di Sessa, Lehrer, & Schauble, 2003 ; Collins, Joseph, & Bielaczyc, 2004). Ces recherches poursuivent en effet un double objectif de développement d'environnements d'apprentissage et de théories de l'apprentissage en phase avec les réalités du "terrain".

Les articles présentant en quoi consiste ce type de recherches font généralement remonter leurs origines aux travaux d'Ann Brown et d'Allan Collins dans les années 1990 (Barab et Squire, 2004; Collins *et al.*, 2004; Cobb *et al.*, 2003; The Design-Based Research Collective, 2003). Ils rapportent que cette approche a émergé en partie pour contribuer à resserrer des liens trop lâches entre le monde académique et celui des praticiens. Plusieurs éléments sont alors mis en avant pour caractériser ce qui constitue une recherche *design-based.*

Dans un numéro de l'Educational Researcher paru en 2003, plusieurs auteurs co-signant un article en tant que "design-based research collective" insistent en particulier sur cinq caractéristiques.

- D'abord, ils considèrent que dans les recherches *design-based,* les deux objectifs de développement d'environnements d'apprentissage et de théories de l'apprentissage sont interconnectés.
- Ensuite, pour le *design-based research collective*, le développement de situations d'enseignement et l'activité de recherche dans une recherche *design-based* prennent place au travers de cycles continus d'élaboration, de mise en œuvre, d'analyse et de ré-élaboration de séquences d'enseignement. La démarche suivie dans ces recherches est donc un processus fondamentalement itératif.

  Cet accent sur l'importance des révisions réfléchies et constantes à la fois du design

et des théories "humbles"[6] que ces recherches permettent d'élaborer, est d'ailleurs mis en avant par les auteurs d'autres publications que nous avons pu consulter sur cette approche (Barab et Squire, 2004; Cobb *et al.*, 2003; Collins *et al.*, 2004).

- Le troisième point que le *design-based research collective* souligne, porte sur la visée théorisante de ces recherches : elles doivent être poursuivies avec l'intention d'échafauder des théories pouvant être réutilisées et partagées, c'est à dire ayant une une validité qui ne soit pas seulement locale. Les sentiers défrichés tout au long du processus d'une recherche *design-based* doivent pouvoir être réempruntés par d'autres. Là encore, cette attention accordée à la visée théorisante s'efforçant de produire des résultats communicables et réutilisables se retrouve dans d'autres articles cherchant à mieux caractériser l'approche *design-based* (Barab et Squire, 2004; Collins *et al.*, 2004).
- Les membres du *design-based research collective* considèrent en quatrième lieu qu'une recherche *design-based* doit rendre compte de la manière dont la séquence pédagogique élaborée fonctionne dans des terrains "authentiques". Les recherches *design-based* sont donc des recherches qui se veulent aux prises avec la complexité du monde réel. Au lieu d'opérer dans l'enceinte bien contrôlée d'un laboratoire elles s'intéressent à l'embrouillamini de la vie réelle où de multiples variables interdépendantes vont influer sur les apprentissages (Collins *et al.*, 2004).
- Enfin, le dernier aspect mis en avant par le *design-based research collective* est lié au précédent et concerne la méthodologie. Ces auteurs estiment que les recherches *design-based* doivent mobiliser des méthodes qui peuvent documenter et connecter les processus de mise en œuvre pratique et l'élaboration de résultats. S'attachant à explorer des situations complexes, pour caractériser au mieux la situation étudiée, plusieurs auteurs, comme ceux du *design-based research collective* (2003) ou Collins *et al.* (2004) soulignent ainsi l'intérêt de retenir plusieurs types et sources de données pour connecter les effets attendus et inattendus de la séquence pédagogique. Collins *et al.* (2004) reconnaissent toutefois que cette multiplication des recueils de données amène parfois les chercheurs à n'en exploiter qu'une partie, faute de pouvoir les décortiquer toutes en un temps humainement raisonnable.

Les recherches prétendant à l'appellation de *design-based* ont donc une visée théorisante clairement affirmée (di Sessa et Cobb, 2004). Il ne s'agit pas seulement de tester des situations "qui marchent" localement. Il faut réussir à extraire des éléments de compréhension pour façonner ou éprouver et modifier des théories devant être elles aussi par la suite testées dans des situations authentiques.

Ainsi, en cohérence avec notre choix de travailler suivant une perspective de recherche *design-based* et d'ancrer notre étude dans le mouvement des recherches sur les questions socioscientifiques, nous avons construit une séquence pédagogique sur les nanosciences et les nanotechnologies permettant d'éprouver une construction théorique sur la scolarisation de controverses socioscientifiques. Cette construction théorique a été proposée par Albe, dans son travail d'habilitation à diriger des recherches, où elle s'interroge sur les *"conditions d'enseignabilité de questions socialement vives"* (Albe, 2007, p. 337)[7].

3.2.2 Un modèle de scolarisation des controverses

En s'appuyant sur ses travaux empiriques mais aussi sur la littérature de recherche alors existante, Albe a établi un modèle dans lequel elle essaye de saisir tous les éléments qui peuvent jouer un rôle dans une situation d'étude de controverses en classe. Étant donné la complexité d'une telle situation où peuvent être rassemblés une trentaine d'élèves singuliers, un enseignant mais aussi tout une série d'objets hétéroclites (du matériel scolaire, des documents,

6. pour reprendre l'expression de Cobb *et al.* (2003) p. 11
7. Un exposé de cette construction est aussi présenté dans un article paru en 2008 (Albe, 2008a).

des vidéos, des salles de TP...), cette construction théorique cherche à rendre intelligible les processus d'enseignement et d'apprentissage de controverses socioscientifiques.

Ce modèle se veut un outil pour l'analyse. Les différentes variables du modèle que nous allons présenter dans ce qui suit, sont en interrelation et l'analyse peut porter aussi bien sur un élément en particulier du modèle que sur l'étude de la modification d'une variable sur les autres éléments du modèle.

Il vise aussi à être un outil pratique pour la conception d'activités pour l'étude des controverses socioscientifiques en classe et décrit donc les différents éléments à prendre en compte pour leur mise au point.

Albe a construit ainsi son modèle autour de trois dimensions permettant de "*caractériser les dispositions*[8] *à la controverse*" des élèves et de l'enseignant.

1. La première dimension qu'elle identifie, est qualifiée d'épistémologique. Pour Albe,

   > *"la dimension épistémologique des dispositions à la controverse vise à permettre d'étudier comment est prise en compte en classe la diversité des savoirs et pratiques de référence à propos de controverses scientifiques" (Albe, 2007, p. 344)*

   Il n'y a pas un texte du savoir univoque qui serait progressivement révélé et que l'enseignant pourrait reprendre sans hésitation pour le soumettre à ses élèves. Les savoirs et les pratiques sont au cœur de la controverse. Des coalitions d'acteurs divers se forment pour tenter de convaincre toujours plus d'alliés de la robustesse des connaissances et des arguments qu'ils sont en train d'élaborer. Citant Stengers, Albe souligne que dans le contexte d'une controverse socioscientifique, se pose la question : à quelle(s) institution(s) reconnaît-on l'autorisation de "dire le vrai". Pour Albe, il faut tenir compte de la diversité des références et des savoirs en jeu dans la controverse pour permettre et analyser l'enseignement de ces questions scientifiques en classe. Comme elle le souligne, cette nécessité de prendre en compte des savoirs controversés plutôt qu'un texte unique et univoque "du savoir", peut mettre l'enseignant dans une situation inconfortable. Il sort de son rôle de détenteur de la connaissance pour en endosser un autre. Il est amené à renégocier un nouveau contrat didactique avec ses élèves.

   Pour rendre compte d'une intégration dans le monde scolaire de questions socioscientifiques controversées, la chercheure distingue trois catégories de savoirs pouvant s'inscrire dans un tel enseignement :
   - des savoirs et pratiques sociales de référence produits par différents groupes sociaux (Albe cite comme exemples des scientifiques, experts, contre-experts, journalistes, associations de professionnels, militants associatifs...).
   - les savoirs sociaux ou naturels qu'à la suite de Legardez (2004, 2006), Albe définit comme les savoirs que les acteurs de l'école ont construit en dehors du système scolaire et qui constituent en quelque sorte les savoirs "déjà-là", pré-existant à la production ou à l'appropriation de savoirs scolaires.
   - et les savoirs scolaires qu'en référence à Legardez (2004 ;2006), elle décrit comme co-construits par les enseignants et par les élèves en lien avec les deux autres genres de savoirs ainsi qu'avec les savoirs institutionnels de référence (programmes...) et les savoirs intermédiaires (manuels...).

8. À propos du choix du mot "disposition", Albe précise :

   "l'usage du terme de "disposition" ne réfère pas selon nous à des caractéristiques psychiques mais vise à nous outiller pour décrire et interpréter des pratiques d'enseignement et d'apprentissage et leur degré de confrontation aux controverses." (Albe, 2008a, p. 20)

Enfin, comme l'institution scolaire n'est pas habituée à prêter l'estrade de ses classes pour y mettre en scène ces types de savoirs qu'elle n'accueille pas habituellement, les relations aux savoirs qu'entretiennent les élèves mais aussi les enseignants avec les savoirs au cœur de cet enseignement particulier peuvent être bousculés.

À ce propos, Albe souligne que ces relations aux savoirs peuvent justement avoir une influence sur le choix de ressources que les enseignants mais aussi les élèves (par exemple lors d'une recherche documentaire) retiendront ou rejetteront pour mener à bien cette étude.

La diversité des références n'a donc pas seulement pour conséquence de modifier le contrat didactique. Elle oblige l'enseignant (mais parfois aussi les élèves) à faire des choix parfois inhabituels de ressources pour traiter de ces controverses en classe, ces choix étant souvent profondément marqués par les relations des sujets à ces savoirs.

2. La deuxième dimension de ce modèle de scolarisation des controverses est nommée "dimension de communication". D'après Albe,

> *"cette dimension porte sur la confrontation d'idées et de paroles des élèves entre elles." (Albe, 2007, p. 344)*

Pour caractériser cette dimension qui s'intéresse aux dispositions permettant l'instauration d'un climat propice à la confrontation des idées et des discours, elle se réfère aux "vertus de communication" que définit Levinson (2006) citant lui-même Burbules et Rice (1991) et Bridges (1979) mais aussi à la notion de "discours d'exploration"[9] introduite par Mercer (1995).

Les vertus de communication pouvant permettre une confrontation d'idées ouverte et constructive entre des personnes de points de vue opposés inventoriées par Levinson (2006) sont les suivantes :

- la patience
- la tolérance
- le respect des différences (genre, ethnicité...)
- l'écoute attentive et réfléchie
- l'ouverture, (c'est à dire selon Levinson (2006) citant Bridges (1979) qu'il faut que chacun accepte de voir ses arguments ébranlés par le raisonnement d'un autre[10])
- l'expression individuelle honnête
- l'adhésion à des procédures reconnues par les différentes parties de la discussion
- la liberté d'expression
- l'égalité (c'est à dire, selon Levinson (2006) citant Bridges (1979), que les individus prenant part à la discussion croient qu'ils ont quelque chose à apprendre des autres).

Ces vertus de communication doivent permettre aux individus de s'engager dans une discussion permettant

> *"une communication saine, ouverte et intégrative des différents points de vue"*(Albe, 2007, p. 344).

Pour Albe, c'est aussi cette visée que poursuivent des individus s'engageant dans un discours d'exploration au sens de Mercer (1997).

Finalement, pour le dire autrement, la discussion lors de l'étude d'une controverse, doit être appréhendée comme une arène où l'on vient éprouver son positionnement en dévoilant honnêtement les arguments sur lequel il repose mais où l'on accepte aussi de revoir ses positions au fur et à mesure des échanges. La discussion ne doit pas virer à

9. Pour reprendre la traduction de l'expression de Mercer "exploratory talk" proposée par cette auteure.

10. Levinson, toujours à la suite de Bridges, met toutefois en garde sur la confusion entre ouverture et acceptation du point de vue de l'autre de manière non critique : "*The concept of criticality is central to any deployment of the communicative virtues in the teaching of controversial issues ; openness does not imply uncritical acceptance of another's point of view (Bridges, 1979).*" (Levinson, 2006, page 1219)

la joute verbale, à la polémique ou au dialogue de sourds mais bien à la confrontation d'idées. C'est cette capacité à s'engager dans une discussion constructive qui constitue le deuxième aspect de la dimension de communication de ce modèle de scolarisation des controverses.

3. L'importance de prendre en compte la multiplicité des références et la variété du collectif d'acteurs participant à la controverse a été souligné dans la "dimension épistémologique" du modèle. De même, le poids de l'établissement de conditions favorisant la confrontation des arguments de chacun dans une séquence pédagogique sur un objet de controverse a été incorporé au modèle par l'intermédiaire de la "dimension de communication".

La troisième dimension du modèle que Albe propose, est, elle, "relative à l'activité du groupe classe". Il s'agit cette fois

> "*de se focaliser sur la confrontation des idées entre enseignants et élèves et sur l'organisation des activités, en cohérence avec la double visée de modèle, d'analyse et de conception de situations d'enseignement*". (Albe, 2007, p. 345)

Cette dimension qualifiée "activité du groupe classe" rassemble les échanges et toutes les interactions entre les élèves et l'enseignant, ainsi que la posture que celui-ci adopte. Comment l'enseignant gère-t-il cette situation où il ne détient pas "la vérité" ? Reprenant la catégorisation des postures qu'un enseignant peut adopter proposée par Kelly en 1986 et s'appuyant sur son analyse de la littérature, Albe suggère aux enseignants confrontés à ce dilemme de choisir une posture "d'engagement critique".

Par ailleurs, le fait de considérer les interactions didactiques entre élèves et enseignants amène cette chercheure, à la suite de Sensevy, à prêter une attention particulière à plusieurs choses :

- au "contenu épistémique" proposé en classe ou plus exactement à la "mésogénèse" (Chevallard, 1992; Sensevy *et al.*, 2000, cités par Albe, 2007 p. 345). Par mésogénèse, on entend désigner simultanément les savoirs introduits en classe mais aussi leur mise en forme par l'intermédiaire de ressources qui orientent les échanges entre enseignant et élèves.
- Albe s'intéresse aussi à la "progression temporelle des savoirs lors de telles activités didactiques" ou "chronogénèse", c'est à dire à la manière dont de nouvelles notions sont progressivement introduites (Sensevy *et al.*, 2000; Chevallard, 1991; Chevallard et Mercier, 1987, cités par Albe, 2007 p. 345). Pour elle, cette dimension est capitale puisque, cela permet

  > "*de cerner si elle (cette étude des controverses) consiste en une activité marginale, réduite à quelques moments ou s'intègre à l'étude des savoirs scientifiques traditionnels, non controversés, inscrits dans les programmes.*" (Albe, 2007, p. 345)

- Elle s'attarde ensuite sur

  > "*les façons dont ces savoirs sont répartis entre enseignants et élèves*" (Albe, 2007, p. 345).
  >
  > Elle parle donc de "topogénèse"(Sensevy *et al.*, 2000; Chevallard, 1991, cités par Albe, 2007 p. 345). En d'autres termes, elle attire l'attention sur la partition que jouent chacun de leur côté l'enseignant et les élèves vis-à-vis des savoirs. Qui répond quoi à qui, qui intervient quand à propos de tel ou tel savoir, qui pose des questions de connaissances ...

- Enfin, Albe englobe dans sa dimension "activité du groupe classe" ce qu'elle regroupe sous le terme "variables d'action" de la pratique enseignante en référence à Bru (1991, cité par Albe). Il s'agit :

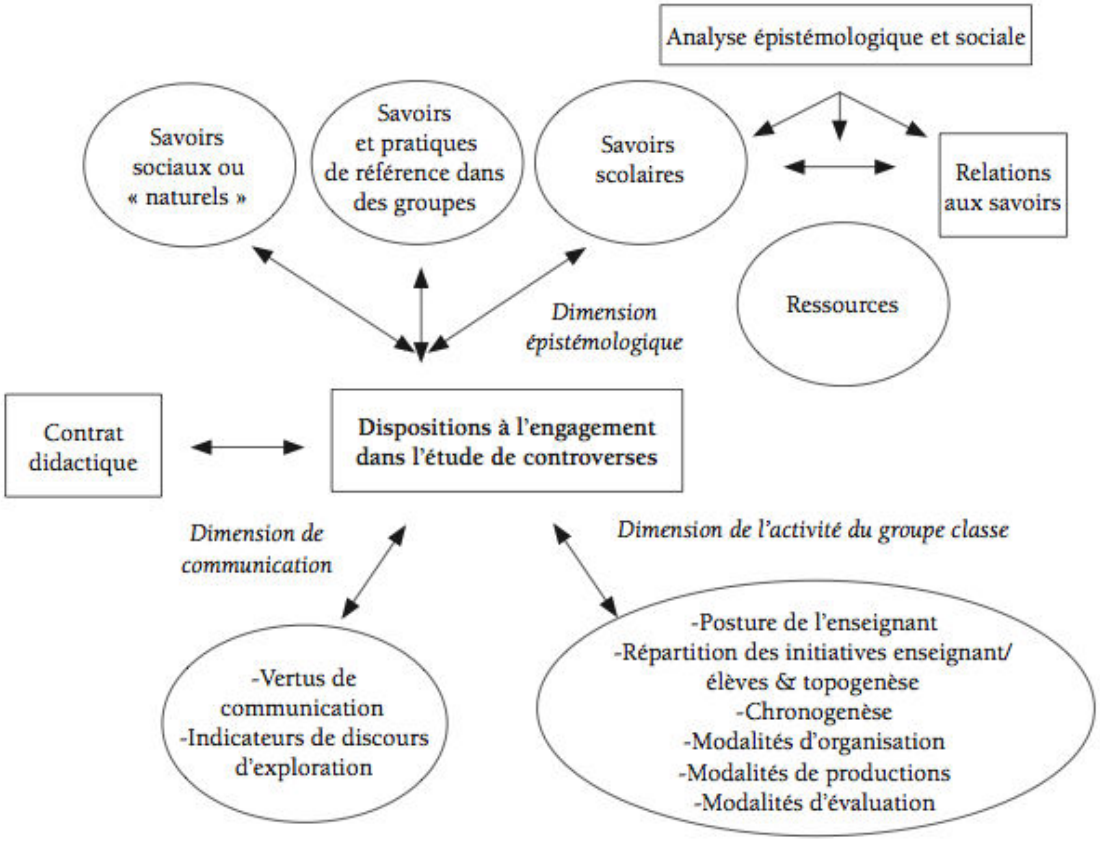


FIGURE 3.1 – Reproduction du schéma proposé par Albe (2007, 2008a) intitulé "Modèle d'une écologie des controverses socioscientifiques"

- de tout ce qui concerne l'organisation pratique de l'activité : les élèves travaillent-ils en groupe ou en classe entière ? Comment vont être exploitées les ressources ? Où va se dérouler cette étude des controverses (en classe, dans un musée, dans une bibliothèque...)
- et de toutes les productions qui seront issues de cette étude (rapport écrit, poster, débat, création de site internet...) pouvant éventuellement donner lieu à une évaluation.

Enfin, le modèle proposé par Albe (2007; 2008a) ne se limite pas à l'inventaire de ces trois dimensions caractérisant les dispositions pour l'étude en classe des controverses socioscientifiques. Comme nous l'avons déjà un peu évoqué et comme cela apparaît sur le schéma de la figure 3.1, ces dispositions sont en inter-relation entre elles et sont en inter-relation avec le contrat didactique défini dans la séance. Les termes de ce contrat peuvent ainsi faire peser de lourdes contraintes sur les dispositions à l'engagement dans l'étude la controverse. Albe (2008a) illustre ce dernier point en imaginant différentes situations : par exemple dans le cas d'un contrat didactique conservant une répartition des rôles "traditionnels" entre élèves et enseignants, l'exploration des controverses risquerait de se limiter à un enseignement où ne seraient considérés que les éléments scientifiques et où l'enseignant serait le détenteur du savoir à transmettre. Au contraire, des dispositions importantes à l'étude de la controverse de la part des acteurs (prise en compte d'une pluralité de savoirs de référence, établissement de conditions favorisant le développement de discours d'exploration...) peuvent amener à modifier le contrat didactique "classiquement mis en œuvre" en classes de sciences.

3.3 Problématisation

Si au travers de notre recherche sur la manière dont des lycéens peuvent comprendre et s'approprier les enjeux des développements des nanotechnologies, nous avons porté notre attention sur chacune des dimensions du modèle "d'une écologie des controverses socioscientifiques" d'Albe (2007), nous avons accordé une importance particulière à la dimension épistémologique qui y est mise en exergue.

Par ailleurs, en cohérence avec notre choix de travailler dans la lignée des recherches Design-based, nous avons poursuivi deux objectifs, l'un éducatif, l'autre de recherche.

D'un point de vue interventionniste, le questionnement éducatif sous-tendant notre recherche a été le suivant :

> Comment est-il possible de construire et de mettre en œuvre une séquence pédagogique dans un cadre scolaire, qui munisse les élèves d'outils intellectuels pour s'emparer des questions soulevées par les développements des nanosciences et des nanotechnologies ?

Et d'un point de vue recherche, la finalité de notre travail a été de contribuer à répondre aux deux interrogations :

> Comment des élèves de lycée comprennent-ils les controverses soulevées par les nanotechnologies ?
>
> Et dans quelle mesure sont-ils capables de considérer de manière critique les différents discours portés par différents acteurs de la controverse sur ces développements ?

Nous nous sommes ainsi intéressés à la manière dont les élèves considèrent, s'approprient, questionnent les différents points de vue et les différents arguments soutenus par une pluralité d'acteurs à propos des nanosciences et des nanotechnologies. Il nous a donc fallu nous interroger sur la façon de prendre en charge la pluralité des références au cœur des controverses soulevées par les nanotechnologies. À ce propos, dans ses travaux sur la scolarisation de controverses socioscientifiques, Albe (2007, 2008b) souligne l'importance de s'engager dans un travail préliminaire d'analyse épistémologique et sociologique des controverses. Cette analyse permet par la suite de poser des choix éducatifs explicites et de fournir les raisons de ces choix à la communauté des éducateurs en sciences.

Nous avons ainsi entrepris un travail analytique préalable à l'élaboration et à l'analyse de situations pédagogiques sur les controverses soulevées par les nanotechnologies. Cette analyse nous a permis de cerner la controverse en développement, les arguments échangés et les acteurs qui les portent. Elle sera détaillée dans le chapitre suivant.

Chapitre 4

Analyse des controverses

Dans son modèle de scolarisation des controverses socioscientifiques, Albe (2007, 2008a) souligne l'importance de tenir compte de la diversité des savoirs et des pratiques de référence produites par divers groupes sociaux (scientifiques, experts, associations citoyennes, mouvements œuvrant pour la protection de l'environnement, association de consommateurs...) au cœur de la controverse. Cette auteur suggère donc de s'engager dans une analyse épistémologique et sociologique des controverses notamment pour comprendre les différents positionnements et le fondement des arguments débattus ainsi que leur contexte socio-politique d'émergence.

Le chapitre qui suit est ainsi consacré à l'exposé d'une analyse des controverses que soulèvent les développements des nanotechnologies. Nous commencerons par y revenir sur les raisons qui nous ont poussés à réaliser ce travail d'analyse. Nous reviendrons ensuite sur la méthodologie employée pour le mener à bien avant d'en livrer le contenu. Enfin, nous refermerons ce chapitre en explicitant notre positionnement personnel et en posant les orientations éducatives que nous avons retenues suite à cette analyse.

4.1 Pourquoi analyser ces controverses ?

L'objectif éducatif de notre travail de doctorat a été d'apporter des éléments de réponse à la question suivante :

> Comment élaborer des situations pédagogiques sur les nanosciences et les nanotechnologies permettant aux élèves d'acquérir des outils intellectuels pour comprendre et participer aux débats que ces développements suscitent ?a

Comment alors ne pas relayer à notre insu des idéologies ambiantes ? Comment se garder de faire des choix implicites par ignorance des enjeux sous-jacents ?

À la suite de Albe (2007), nous pensons qu'effectuer une analyse épistémologique et sociologique des controverses préalablement à la mise en place et à l'analyse de situations d'enseignement sur des questions socioscientifiques peut constituer un garde-fou pour éviter de colporter aveuglément des discours sans avoir pris conscience de ce qu'ils véhiculent.

Entreprendre une analyse épistémologique et sociologique, cela signifie questionner les savoirs mis en jeu, mais également leur contexte d'émergence et leurs conditions d'élaboration. Cela implique de cerner qui sont les acteurs qui prennent part à la controverse et de décrypter leurs discours pour saisir les enjeux des débats.

Finalement, ce travail analytique est une manière de comprendre de quoi l'on parle, un passage nécessaire pour gagner en lucidité et éclairer ensuite des choix éducatifs.

Nous nous sommes donc engagés dans la réalisation d'une analyse des controverses soulevées par les nanosciences et les nanotechnologies en étant conscients que de nombreux ana-

lystes très divers ont déjà aiguisé leur plume pour décrire et alimenter le cortège de débats qui accompagne l'avènement des "nanos".

Des sociologues (e.g. Laurent, 2010; Vinck, 2009) ou des philosophes (e.g. Bensaude-Vincent, 2009) des sciences décortiquent par exemple ces développements et les questions qu'ils suscitent. Des chercheurs du LARSIM (Laboratoire des Recherches sur les Sciences de la Matière) au CEA, ont conjugué leurs efforts pour rédiger un document : "le débat sur les nanosciences : enjeux pour le CEA" (Klein, Grinbaum, & Bontems, 2007) ; Des associations comme la fondation Sciences Citoyennes [1] ou bien encore Pièces et Main d'Œuvre apportent aussi leurs contributions régulières et critiques à l'analyse des débats soulevés par les nanotechnologies...

Beaucoup de gens s'intéressent donc déjà à ces controverses. Si nous avons choisi de ne pas reprendre à notre compte telle qu'elle l'une de ces analyses, c'est pour la raison suivante : nous ne voudrions pas sans nous en rendre compte servir des objectifs qui ne seraient pas les notres. Nous avons donc choisi d'effectuer un détour et de réaliser notre propre analyse des controverses pour mieux comprendre quels sont les enjeux et les questions qui surgissent lorsque l'on parle des développements des nanotechnologies.

4.2 Méthodologie

4.2.1 Recours aux méthodologies développées en sociologie des sciences

Effectuer des analyses épistémologiques et sociologiques des controverses dans des contextes autres que celui de l'éducation est une idée qui a déjà fait son chemin [2]. Ces analyses constituent même l'un des outils majeurs des études sociales sur les sciences. Les premières études de controverses remontent aux années 1970 et se développent dans le sillage des travaux de David Bloor et d'Harry Collins. Cette pratique consiste à proposer une microanalyse détaillée des débats au cœur des pratiques de science. Plusieurs idées sous-tendent ces analyses de controverse et d'abord celle de ne pas séparer la production des faits scientifiques de leur contexte d'émergence social et culturel [3]. Par ailleurs, ces études de controverse proposent de suivre les acteurs de la controverse en se défaisant d'une lecture partisane et anachronique des débats qui considérerait les différentes thèses soutenues par les acteurs à la lumière de ce qui est aujourd'hui communément admis dans une communauté scientifique [4].

Dans les années 75-85, les analyses de controverses deviennent un outil qui, selon Pestre (2006), acquiert une très grande importance en histoire des sciences. Si elles permettent de produire des résultats très riches, Latour pointe néanmoins au milieu des années 80 qu'elles constituent un genre particulier et que d'autres éclairages peuvent être intéressants pour penser les dynamiques des sciences. Au travers notamment de son livre sur Pasteur (Latour, 1984, cité par Pestre, 2006), il propose de sortir de l'enceinte du laboratoire pour aller voir comment les scientifiques interagissent avec les autres acteurs sociaux et comment ils participent à modeler non seulement les sciences mais aussi le social. Le social n'est alors plus considéré comme un contexte stable et donné. Les savoirs scientifiques sont en effet repris et transformés dans l'espace social et par là même, ils contribuent à le reconfigurer. Pour Latour (et Callon avec qui il collabore), sciences et social se co-transforment dans un processus dynamique. Latour

1. Ils ont notamment proposé entre autres choses, une contribution sous le titre "Survivre aux nanotechnologies ? Giga-qestions, nano-visions et citoyenneté" (2005) disponible sur leur site : http ://sciencescitoyennes.org/survivre-aux-nanotechnologies-giga-questions-nano-visions-et-citoyennete/ consulté le 10/02/2011

2. Ce que nous allons présenter dans ce paragraphe sur le développement et l'évolution des études de controverses dans le domaine des Science Studies est très largement emprunté à l'ouvrage de Pestre (2006). Nous ne nous prétendons pas spécialiste des analyses de controverse mais souhaitons tout de même donner quelques éléments pour mieux situer et définir l'outil que nous avons employé.

3. C'est ce que suggère le principe de causalité du programme fort de Bloor.

4. C'est ce que regroupent les principes d'impartialité et de symétrie du programme fort de Bloor.

souligne par ailleurs le rôle des "acteurs non-humains" dans cette reconfiguration. Les travaux menées dans cette veine des études sociales sur les sciences ne se focalisent donc plus sur la façon dont certains énoncés scientifiques deviennent acceptés dans la communauté savante. Il s'agit plutôt, pour reprendre les termes de Pestre,

> *"de décrire comment des énoncés, des objets et des pratiques s'imposent de façon spatialement différenciée dans la compétition pour la survie sociale et cognitive". (Pestre, 2006, p. 48)* [5]

Dans les années 1990, les études de controverses produites dans le domaine des études sociales sur les sciences ne se restreignent donc plus aux débats et à la fabrique des faits scientifiques dans les communautés savantes. Certains travaux s'attachent ainsi à cartographier le déploiement de controverses à la fois scientifiques, techniques, sociales et politiques qui font l'actualité (OGM, Sida, déchets nucléaires...). Comme pour les premières études de controverses, l'idée est d'examiner de manière symétrique les différentes prises de position sur la controverse. Par contre, ce "nouveau" type d'analyse ne se limite plus aux communautés scientifiques. Elles s'intéressent à la manière dont les différents acteurs qui ne sont plus seulement des scientifiques établissent des affirmations, comment ils les défendent et comment se transforment dans le même mouvement le scientifique et le social.

C'est ce type d'analyse des controverses que nous avons menée [6].

Elles ont été importées en didactique des sciences par Albe (2007) dans le cadre de ses réflexions sur l'enseignement de controverses scientifiques socialement vives. Nous appuyant sur ces travaux, nous avons ainsi pris le parti d'emprunter à ces méthodologies de sociologie des sciences pour dégager une intelligibilité dans les débats soulevés par les développements des nanosciences et des nanotechnologies avec une intention particulière : celle de mettre en place et d'analyser des dispositifs éducatifs sur des objets controversés où les dimensions sociales et politiques sont inextricablement liées aux dimensions scientifiques et technologiques.

Avant d'entamer ce travail analytique, nous avons consulté plusieurs documents dont la lecture a guidé notre travail. Il s'agit de conseils méthodologiques prodigués par Bruno Latour sur son site Internet (2007) [7], du mémoire d'habilitation à diriger des recherches de la didacticienne Virginie Albe (2007) et d'un article du sociologue des sciences Christophe Bonneuil (2006).

Les conseils prodigués par Latour sur son site Internet sont destinés à des étudiants siégeant sur les bancs de Sciences Po ou de l'école des mines de Paris qui suivent un cours de description de controverses. L'objectif de cet enseignement est de former les décideurs en herbe à affronter des situations réelles, complexes et controversées où se mêlent des composantes scientifiques et techniques. Ces instructions sont mises en ligne pour éviter aux étudiants d'inutiles errements et leur rappeler quelques lignes directrices pour mener un travail de cartographie d'une controverse. Latour distingue plusieurs niveaux d'analyse :

- Un premier niveau consiste à étudier les moyens pratiques de production de la connaissance : les chercheurs, les institutions, les financements, les hypothèses, les théories...
- Un second niveau d'analyse concerne l'examen de tous les groupes avec qui les producteurs de connaissance ont des connections : alliés, opposants, porte parole....

5. Pestre signale aussi que cette nouvelle façon de faire des études sociales sur les sciences impulsée par Latour a ouvert de vif débats dans la communauté des *Science Studies (Pestre, 2006, p. 22).*

6. Nous allons donc proposer une présentation de la controverse "la plus symétrique possible". Cependant, cela ne veut pas dire que nous parlons de nulle part. Si dans le traitement des arguments et des prises de position des acteurs nous tâchons de coller le mieux possible à ce que disent les acteurs, nous ne prétendons pas pouvoir nous situer en surplomb de la controverse, en particulier lorsqu'il nous faudra positionner nos choix éducatifs à la lumière de notre analyse des controverses. Nous détaillerons donc, à la fin de ce chapitre (paragraphe 4.4), notre positionnement personnel sur ce que sont, pour nous, les nanotechnologies et ce, afin de permettre au lecteur de situer au mieux notre discours.

7. Latour, B. (2007). Cours de description de controverses. Retrieved January 08, 2010, from http ://controverses.ensmp.fr/

- Latour indique ensuite dans un troisième niveau de ne pas omettre d'examiner les mises en forme de la controverse (campagne d'expériences, de presse, débat public organisé par l'État...)
- Enfin, il insiste sur l'importance d'essayer de saisir la dynamique de la controverse.

Dans son mémoire d'habilitation à diriger des recherches en didactique des sciences, Virginie Albe reprend tous ces éléments mis en avant par Bruno Latour. Elle propose également trois analyses de controverses réalisées en empruntant trois voies distinctes. La première concerne la téléphonie mobile et les effets des ondes électromagnétiques sur la santé. Dans ce cas précis, l'entrée par une question spécialisée a permis à cette auteur de cartographier cette controverse en considérant une grande diversité de formes de littérature (articles scientifiques, articles de presse généraliste et de "vulgarisation", sites Internet, rapports d'experts, débats publics...). La seconde question controversée passée au crible au moyen d'une analyse épistémologique et sociologique est celle du changement climatique. L'approche retenue a alors consisté à examiner l'histoire de cette controverse. Enfin, dans un dernier travail sur l'énergie éolienne, Albe a effectué son analyse à partir d'un corpus d'abord constitué d'articles de presse lui permettant d'identifier les positionnements et les arguments des acteurs, qu'elle a ensuite étendu à des articles publiés dans des revues spécialisées.

De son côté, Bonneuil, sociologue des sciences, dans un article paru en 2006 sur l'engagement public des chercheurs [8] dans la controverse OGM, a utilisé comme matériau pour forger son analyse des appels et pétitions sur les OGM. Dans ce travail, il met en évidence l'existence d'une corrélation entre l'engagement public des biologistes et leur position disciplinaire dans le champ des sciences de la vie. Il justifie ce choix d'entrée par les pétitions et les appels par plusieurs arguments. D'abord, apposer sa signature au bas d'un appel constitue pour Bonneuil une façon pour un sujet de prendre position dans une controverse. Ensuite, ces positionnements, quoique purement individuels, permettent néanmoins de repérer des mouvements collectifs. En outre, appels et pétitions circulent lors des temps forts de la controverse. Ils permettent donc de suivre l'évolution des positionnements. Enfin, cet auteur indique aussi que ce choix d'entrée lui permet de sonder l'influence des prises de positions sur les évolutions de la controverse.

Ces quatre exemples d'analyse de controverses montrent la multiplicité des approches possibles et la diversité des corpus utilisables pour les construire.

L'important est de cerner :

- Qui sont les acteurs prenant part à ces controverses ? Quels sont les valeurs, les intérêts et les visions du monde qu'ils défendent ?
- Quels sont leurs objets de préoccupation et comment se positionnent-ils dans les débats ? Comment ces objets et ces positionnements évoluent-ils au cours du temps et au gré des débats ?
- Quels sont les arguments des acteurs ? Comment construisent-ils leurs preuves ?
- Quelles sont les relations qu'ils entretiennent avec les autres acteurs ?

Ce sont donc ces éléments que nous avons cherché à identifier dans notre travail d'analyse des controverses.

Ayant cerné ce que nous cherchions, il nous a aussi fallu retenir un choix d'entrée dans les controverses soulevées par les nanotechnologies et pour cela définir le corpus documentaire à partir duquel modeler notre analyse.

8. Nous reprenons ici les termes employés par Bonneuil.

4.2.2 Délimitation du corpus

La première étape dans le processus de délimitation de notre corpus a consisté à en fixer les "bornes géographiques". Nous avons pris le parti de nous concentrer sur les controverses soulevées par les nanosciences et les nanotechnologies telles qu'elles retentissent en France. La raison fondamentale qui a motivé ce choix d'échelle est la suivante : les enseignements que nous allions être amenés à mettre en place et à analyser seraient destinés à un public de lycéens ou d'étudiants scolarisés sur le territoire français. Il nous a donc semblé pertinent de concentrer nos efforts sur le tissu d'acteurs qui alimentent le débat sur les nanosciences et les nanotechnologies dans ce pays.

La seconde étape a consisté à choisir le matériau pour effectuer cette analyse des controverses. Comme nous l'avons fait apparaître, divers corpus peuvent être constitués pour entamer une analyse de controverses. Le choix de point de départ pour amorcer notre analyse demeurait donc ouvert. Or le moment où nous nous sommes intéressés à cette question a coincïdé avec la tenue d'un débat public national sur les nanotechnologies. Du 15 octobre 2009 au 23 février 2010, une série de 17 réunions avaient été prévues dans différentes villes de France pour débattre des développements et de la régulation des nanotechnologies. Ces rencontres, dont l'organisation avait été confiée à la commission nationale du débat public (CNDP) dans une lettre de saisine signée par 7 ministres et une secrétaire d'État [9] avait ainsi donné lieu à plusieurs préparatifs. À cette occasion, la commission nationale du débat public avait notamment lancé cet appel :

> *"la Commission particulière du débat public invite le public, qu'il s'agisse de personnes physiques ou morales (collectivités locales, parti politique, établissement public, entreprises, syndicats, associations, chambres consulaires, tous organismes publics ou privés), à participer au débat sous la forme d'une contribution écrite. (...)*
>
> *Certaines contributions écrites, émanant uniquement de personnes morales (groupes parlementaires, collectivités locales, associations, chambres consulaires, syndicats professionnels, organismes publics, para-publics ou privés), peuvent faire l'objet de cahiers d'acteurs. C'est la pertinence de l'argumentation développée, l'enrichissement apporté au débat et le respect des principes du débat public qui guideront le choix de la CPDP dans sa décision d'éditer un cahier d'acteurs. Ces cahiers - dont le contenu engage aussi la responsabilité de leurs auteurs - bénéficieront du même système de diffusion que les principaux documents du débat public : le document de présentation du débat, le dossier du maître d'ouvrage, la synthèse du dossier du maître d'ouvrage ...*
>
> *Les cahiers d'acteurs sont donc à la fois des moyens d'information et des outils d'expression.* [10]

Toutes les organisations impliquées ou se sentant concernées par les développements des nanosciences et des nanotechnologies avaient donc une tribune où se manifester pour rendre publics leurs positionnements et participer au débat. Par ailleurs, le format était contraignant ; S'ils voulaient avoir voix au chapitre, il fallait que les auteurs de ces cahiers synthétisent l'exposé de leurs prises de position et de leurs arguments pour qu'ils tiennent en quatre pages. Il leur fallait donc faire des choix et mettre l'accent uniquement sur les préoccupations qu'ils estimaient centrales dans le débat.

9. Lettre signée par la ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche, le ministre de la défense, la ministre de la santé et des sports, la ministre de l'économie, de l'industrie et de l'emploi, le ministre du travail, des relations sociales, de la famille, de la solidarité et de la ville, le ministre de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, le ministre de l'agriculture et de la pêche et la secrétaire d'État à l'écologie.

10. Extrait de la page intitulée "proposer un cahier d'acteurs", sur le site Internet du débat public ouvert par la CNDP disponible à l'adresse : http ://www.debatpublic-nano.org/participer/proposer_un_cahier_d_acteurs.html (Consulté le 27/04/2010).

Finalement, 51 “acteurs” ont répondu à cet appel en composant un de ces “cahiers d’acteurs” publiés ensuite par la CNDP. Nous nous sommes donc saisis de ce corpus constitué par ces 51 textes fraîchement rédigés à l’occasion d’une “mise en forme de la controverse”[11] et nous avons travaillé cette matière première pour modeler notre analyse.

Retenir cette cinquantaine de courts écrits a alors soulevé une question importante, car parmi les acteurs ayant répondu à l’appel de la commission nationale du débat public, quelqu’un manquait. Une figure singulière de la contestation aux nanotechnologies, le groupe Pièces et Main d’Œuvre (PMO) ne s’est pas manifesté en rédigeant un cahier d’acteurs. Les membres de ce groupe grenoblois se sont pourtant illustrés en 2006 en perturbant l’inauguration de Minatec, le centre de recherche flambant neuf sur les micro et les nanotechnologies de Grenoble et ils continuent d’affirmer régulièrement leur opposition aux nanotechnologies en manifestant, en publiant des écrits sur Internet ou en distribuant des tracts. PMO a d’ailleurs été explicitement sollicité par la CNDP pour la préparation de son cycle de débats. Le refus de ses membres d’y participer est donc délibéré. Ils s’en justifient en exposant leurs raisons sur l’un de leurs sites Internet ouvert spécialement à l’occasion de ce cycle de débats publics[12].

Dans les textes publiés sur ce site, PMO explique son opposition catégorique au développement des nanotechnologies et argue que ce cycle de débats n’en est pas un puisque les investissements en faveur du développement des nanosciences et des nanotechnologies sont déjà engagés. Pour ce collectif, accepter de parler à la tribune de ces débats publics alors que par exemple le plan NanoInnov a été lancé quelques mois plus tôt par le gouvernement à grands coups de millions d’euros, n’est pas envisageable ; Ce serait pactiser avec ce qu’il dénonce. PMO a donc décliné cette offre de rédiger un cahier d’acteurs. Comme il l’indique lui même, il y voyait une tentative de récupération et ne voulait pas prendre le risque que les organisateurs de ces débats agitent ce cahier d’acteurs comme un certificat délivrant à leur débat la mention “approuvé par PMO”.

> *On comprend pourquoi les animateurs de la démocratie technique tentent toujours de nous mouiller (du cycle NanoViv à Grenoble à la CNDP). Non seulement notre participation leur fournirait le label “approuvé par les opposants”, mais le simple fait de faire partie de la manip’ étoufferait notre critique jusqu’à la rendre inaudible. Participer, c’est accepter, par un effet mécanique de connivence et de coopération qui aboutit toujours au plus petit dénominateur commun.*[13]

De plus, PMO estime que la commission nationale du débat public n’est pas légitime pour organiser ces rencontres, et qu’elle n’est qu’un nouvel avatar d’une *“démocratie d’experts”*.

> *Levons donc tout malentendu et rappelons que ce “grand débat national” est motivé par la critique et l’agitation autour des nanotechnologies, portées par PMO depuis janvier 2003, et qu’il a pour objectif de noyer cette critique dans la mélasse des “débats participatifs” encadrés par les experts en “démocratie technique”. Nous n’avons cessé, quant à nous, de mettre sur la place publique, seul lieu légitime du débat, les menaces des hypertechnologies et des technologies convergentes, que les décideurs et les chercheurs auraient préféré garder dans la discrétion des laboratoires. Sans notre activité et celle de nos amis, c’est toute la population qui aurait été tenue “à l’écart de ce débat”.*[14]

Ainsi PMO a refusé de contribuer au cycle de débats de la CNDP en utilisant les canaux officiels mis à disposition par la commission nationale du débat public. Que faire alors pour notre

11. pour reprendre les mots de Latour.

12. www.nanomonde.org en particulier celui intitulé “la commission du débat public nous écrit” http ://www.nanomonde.org/La-Commission-nationale-du-debat consulté le 27/04/2010 et www.piecesetmaindoeuvre.com

13. http ://www.nanomonde.org/La-Commission-nationale-du-debat consulté le 27/04/2010

14. http ://www.nanomonde.org/La-Commission-nationale-du-debat, Lien consulté la dernière fois le 24/01/2012

corpus ? Ignorer cet acteur et ses arguments dans notre analyse nous paraissait relever d'un oubli irrémissible pour notre panorama des controverses ambitionnant d'imager le paysage français du débat sur les nanosciences et les nanotechnologies.

Aussi, parce que la commission nationale du débat public espérait faire participer les gens de PMO à son cycle de réunions et parce que PMO a suivi et critiqué de manière extrêmement minutieuse le déroulement de chacune des rencontres de la CNDP [15], nous avons fait le choix d'intégrer ses positionnements à notre analyse des controverses.

Il nous a alors fallu choisir un texte synthétisant ses positionnements sur la question des nanotechnologies, une sorte de substitut de cahier d'acteur pour nourrir notre analyse.

Sur les deux sites ouverts par PMO, on peut trouver une littérature extrêmement abondante accumulée au fil des années, de l'actualité et des actions de cette organisation. Dans ce foisonnement de prose publié en ligne, nous avons sélectionné un texte intitulé "Minime introduction aux nanotechnologies [16]", paru la première fois en mars 2006 sur le site *www.piecesetmaindoeuvre.com* et publié de nouveau en septembre 2009 sur *www.nanomonde.org* à l'occasion du débat public.

Ce texte de 13 pages, bien que beaucoup plus long qu'un cahier d'acteur, nous paraissait approprié du fait de sa volonté d'être "une introduction" aux nanotechnologies. Il nous a ainsi semblé que ce texte s'adressait à des personnes n'étant pas nécessairement informées des questionnements soulevés par les nanotechnologies comme l'étaient aussi les cahiers d'acteurs. De plus, comme ce texte se voulait être une "introduction", nous avons pensé que PMO souhaitait y mettre en exergue les questionnements suscités par les nanotechnologies leur paraissant les plus importants. Enfin, puisque PMO avait choisi de le remettre en avant sur son site Internet ouvert au moment du cycle de débats de la CNDP, nous avons pensé que cette organisation estimait que le contenu de ce texte était toujours d'actualité en septembre 2009.

Par conséquent, nous sommes passés outre sa longueur et nous l'avons placé sous notre loupe, aux côtés de tous les autres cahiers d'acteurs du débat public.

Notre corpus est donc finalement constitué des 51 cahiers d'acteurs fournis à la commission nationale du débat public à l'occasion du cycle de rencontres sur les développements et la régulation des nanotechnologies de l'hiver 2009-2010 ainsi que du texte du groupe PMO : "*Minime introduction aux nanotechnologies*". Ayant choisi le matériau dans lequel nous allions puiser de quoi façonner notre analyse restait cependant un dernier petit problème à régler.

4.2.3 Quel outil de visualisation ?

La dernière question dont nous avons dû nous saisir concerne la manière de représenter ces controverses. Il nous a fallu faire un choix d'outil de visualisation permettant d'embrasser du regard la multiplicité des préoccupations des acteurs et de leurs positionnements.

Cartographier des controverses permet en effet aussi au terme d'un travail d'analyse, de mettre en image leur complexité.

Certains enseignants donnant des cours de description de controverses, mettent ainsi en garde les étudiants massés dans leur amphi de "sous-estimer l'importance de la représentation" [17]. Aussi pour que ces préceptes passent du statut de recommandation abstraite à celui de suggestion consciencieusement mise en application, ces enseignants ont mis à disposition sur Internet toute une liste de logiciels de visualisation [18]. Nous avons alors parcouru cet inventaire de logiciels, en espérant trouver de quoi ciseler des représentations graphiques qui

15. comme en témoigne les contributions postées sur le site www.nanomonde.org
16. Ce texte est disponible à l'adresse http ://www.nanomonde.org/Minime-introduction-aux, consulté le 27/04/2010
17. C'est ce qu'on peut lire sur un diaporama de cours de Tommaso Venturini, datant du 28/09/2008.
18. http ://www.demoscience.org/resources/category/2 Consulté le 29/11/2011

décalqueraient notre pensée sur un écran d'ordinateur. Nous voulions trouver quelque chose qui ne nous contraindrait pas à contorsionner notre pensée dans une trame préconstruite imposée par un programme et nous avons finalement choisi d'utiliser le logiciel de visualisation Gephi. C'est un logiciel libre qui permet de tracer des nœuds et de les relier par des liens pour former des réseaux. Il propose quelques fonctionnalités pour rendre les graphiques un peu plus présentables, mais l'essentiel est là : des nœuds, des liens et pour donner un sens à ces entrelacs : des légendes.

Pour construire les quelques cartes qui figurent dans ce manuscrit, nous avons donc procédé de la façon suivante. Chaque organisation et chaque objet de discussion est représenté par un nœud. Nous avons ensuite connecté ces nœuds en reliant les organisations aux objets de discussion dont elles traitaient dans leur cahier d'acteurs. Nous avons aussi relié certains objets de discussion ensemble, en orientant le lien de l'objet le plus générique au plus spécialisé. Ensuite, pour représenter le réseau obtenu, nous avons utilisé un algorithme "force-based". Le principe du calcul s'inspire de la mécanique du point. Chaque nœud est un point matériel exerçant une force répulsive sur les autres nœuds et chaque lien exerce une force de rappel sur les nœuds qu'il relie.

Puis, pour peaufiner le rendu visuel, nous avons ajusté la taille des nœuds et de leur légende en fonction du nombre de liens partant ou arrivant sur le nœud. Nous avons aussi utilisé un algorithme de modularité pour identifier des communautés dans le réseau. Ces "communautés" apparaissent alors dans des couleurs distinctes. Enfin, pour faciliter la lisibilité, nous avons utilisé les fonctionnalités permettant de décaler légèrement les nœuds pour éviter les chevauchements entre les légendes et courbé les liens pour obtenir un rendu final moins anguleux.

Ayant ainsi choisi nos outils pour représenter les controverses soulevées par les nanosciences et les nanotechnologies, nous nous sommes attaqués à l'analyse de notre corpus.

4.2.4 Exploitation du corpus

Pour réaliser notre analyse des controverses, nous avons procédé en plusieurs étapes.

Nous avons commencé par nous lancer dans la lecture systématique des cahiers d'acteurs, guidée par une fiche de lecture. Dans cette fiche de lecture nous répertorions pour chaque document :

- des éléments sur l'acteur auteur du cahier : son statut, ses missions, la date d'apparition de cette organisation, ses liens avec d'autres acteurs ;
- des éléments liés au positionnement de l'acteur :
  - ses préoccupations affichées,
  - ses prises de positions et ses arguments avancés pour chacun de ces objets de préoccupation,
  - des éléments de définition des terminologies employées,
  - ses actions déjà mises en place,
  - les recommandations et des attentes éventuellement formulées par cet acteur
  - et enfin, les documents et écrits produits par cet acteur et mentionnés dans le cahier d'acteurs.

Au cours de cette première étape de lecture systématique, nous avons pu noter des similitudes entre certaines prises de position mais aussi effectuer des rapprochements entre les missions que revendiquaient certains acteurs. Par conséquent, il nous a semblé judicieux de distinguer des catégories d'acteurs. Dans chaque catégorie, nous avons alors rassemblé tous les auteurs de cahiers d'acteurs ayant une fonction proche en société. L'intérêt de ces catégories est qu'au sein d'un même groupe, nous avons souvent repéré des similitudes dans l'angle d'approche privilégié pour aborder la question du développement des nanosciences et des nanotechnologies. Ces catégories sont en vrac :

- les organismes de recherches et les acteurs de l'expertise publique. Parmi eux on compte :
  - le CNRS/CEA (le Centre National de Recherche Scientifique et le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives)
  - l'INSERM (Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale)
  - l'INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et Automatique)
  - l'AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments)
  - l'AFSSET (Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail)
  - l'INC (Institut National de la Consommation)
  - l'INERIS (Institut National de l'Environnement industriel et des RISques)
  - l'INRS (Institut National de Recherche et Sécurité)
  - l'IReSP (Institut de Recherche en Santé Publique : un des instituts thématiques de l'INSERM)
- les regroupements d'industriels, d'entreprises ou d'entrepreneurs. Cette catégorie regroupe :
  - l'ANIA (Association Nationale des Industries Alimentaires)
  - EpE (Entreprises pour l'Environnement)
  - la FEBEA (Fédération des Entreprises de la Beauté)
  - le LEEM (Les Entreprises du Médicaments)
  - le MEDEF (Mouvement des Entreprises de France)
  - Sitelesc micro et nanoélectronique
  - l'UIC (Union des Industries Chimiques)
- les syndicats de salariés et les associations de consommateurs. Au sein de cette catégorie, les organismes qui ont fourni un cahier d'acteurs sont :
  - la CFDT (Confédération Française Démocratique du Travail)
  - la CFE-CGC (Confédération Française de l'Encadrement – Confédération Générale des Cadres)
  - la CFTC (Confédération Française des Travailleurs Chrétiens)
  - FO (Force Ouvrière)
  - l'UNSA (Union Nationale des Syndicats Autonomes)
  - l'AFOC (Association Force Ouvrière Consommateurs)
  - la CLCV (Consommation Logement Cadre de Vie)
  - Familles Rurales
  - l'Indecosa-CGT
- les assemblées institutionnelles :
  - le Conseil Economique Social et Environnemental (CESE)
  - le Conseil Economique et Social de Bretagne (CES Bretagne)
  - le Conseil Economique et Social de Franche-Comté (CES Franche-Comté)
  - le Conseil Economique et Social Rhône-Alpes (CES Rhône-Alpes)
  - le Conseil Régional d'Île de France (CR Île de France)
- les associations et collectifs citoyens orientant leurs réflexions sur les développements des sciences et des technologies en société
  - le Collectif Français Membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie
  - le Collectif sur les Enjeux des Nanotechnologies à Grenoble (CENG)
  - la Fondation Sciences Citoyennes (FSC)
  - Sciences et Démocratie
  - VivAgora
- les mouvements de protection de l'environnement
  - l'APPA (Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique)
  - la FIDEA (Fédération Inter Départementale de l'Environnement Avignonnais)
  - France Nature Environnement (FNE)
  - Les Amis de la Terre

  - L'ORDIMIP (Observatoire Régional des Déchets Industriels en MIdi Pyrénées)
  - La SEPANSO (Fédération Régionale des Associations de Protection de la Nature de la région Aquitaine ; cette organisation est membre de FNE)
- les académies et les sociétés savantes
  - l'Académie Nationale de Médecine
  - l'Académie de Pharmacie
  - l'Académie des Sciences
  - l'Académie des Technologies
  - la Société Française de Santé Publique (SFSP)

Nous avons ainsi pu sans trop d'hésitations ranger la plupart des acteurs dans une catégorie, même si certains de nos choix peuvent être discutés. Cependant cinq acteurs se sont montrés difficiles à classer. Leur statut et leur mission restaient en marge de ceux des autres et ne se moulaient dans aucun des groupes que nous avons pu façonner. Nous les avons donc traités à part. Il s'agit de :

- la CNIL (Commission Nationale Informatique et Libertés), autorité administrative indépendante ;
- l'AFNOR Normalisation possédant selon ses propres termes la *"mission d'intérêt général d'être l'opérateur central du système français de normalisation"* ;
- le CNISF (Conseil National des Ingénieurs et des Scientifiques de France) ;
- l'association française transhumaniste.

Enfin un parti politique a aussi rédigé un cahier d'acteurs. Il s'agit des Verts. Nous avons hésité à lui ménager une place dans la catégorie regroupant les "mouvements de protection de l'environnement". Cela ne nous paraissait pas complètement absurde... Cependant, le statut d'un parti politique diffère de celui d'une association. Nous avons donc examiné sa contribution, à part, comme pour les quatre autres acteurs précédemment cités.

Une fois ces catégories élaborées, nous avons ensuite entrepris d'analyser catégorie par catégorie les prises de positions et les arguments des différents acteurs. Cette première analyse des positions et des approches mises en avant au sein des différents groupes nous a permis de rédiger une première synthèse. Nous avons ensuite repris et affiné l'analyse et la rédaction de nos analyses catégorie d'acteurs par catégorie d'acteurs pour enfin retravailler de nouveau la synthèse de notre analyse des controverses.

Ainsi, suite à ces aller-retours entre analyse des cahiers d'acteurs et essais de synthèse, nous avons fini par esquisser le paysage présenté dans les pages qui suivent.

4.3 Synthèse de l'analyse des controverses

4.3.1 Cinq dimensions de questionnement

Pour rendre compte de la diversité des objets de préoccupation, nous avons distingué cinq catégories de questionnements. Ces cinq catégories sont des axes autour desquels nous paraissent s'articuler les discussions sur les nanosciences et les nanotechnologies. Nous ne prétendons pas que ces rubriques constituent la seule catégorisation permettant de démêler les débats sur les nanosciences et les nanotechnologies. Elles permettent cependant de couvrir de manière exhaustive les différents objets de débats que nous avons repérés dans notre travail d'analyse des controverses.

Ces cinq dimensions sont les suivantes :

- Les questions sanitaires et environnementales suscitées par l'utilisation des nanoparticules et nanomatériaux ;
- Les questions ouvertes par les nouvelles perspectives pour la médecine et les questionnements sur l'homme et le vivant ;
- La possible mise en danger des libertés individuelles par la prolifération de dispositifs communicants miniaturisés ;

– Les rapports entre développements technoscientifiques et démocratie ;
– Les interactions entre enjeux économiques, sociaux et géostratégiques, et développements scientifiques et technologiques.

Ces dimensions de questionnements ne sont pas toutes de même nature. Les trois premières, (questions sanitaires et environnementales, nouvelles perspectives pour la médecine et questionnements sur l'homme et le vivant, et mise en péril des libertés individuelles) regroupent des interrogations éveillées par des caractéristiques propres à des objets que certains acteurs considèrent comme relevant des nanosciences et des nanotechnologies.

Ces trois premières dimensions peuvent être considérées indépendamment les unes des autres, tout en étant mises en regard avec les deux dernières (rapport entre développements technoscientifiques et démocratie et interactions entre enjeux économiques, sociaux, géostratégiques et développements scientifiques et technologiques). Ces deux dernières dimensions se nourrissent en effet et alimentent les trois premières dimensions. Elles ne se conçoivent qu'en interaction avec elles et interrogent la manière dont le programme de recherche et d'innovation des nanotechnologies est développé en société.

Nous allons à présent détailler les interrogations dissimulées derrière chacun de ces cinq volets de préoccupation, en commençant par les questions sanitaires et environnementales suscitées par la production rationnalisée et à grande échelle de nanoparticules et de nanomatériaux.

4.3.2 Les questions sanitaires et environnementales suscitées par les nanoparticules et nanomatériaux

Nanoparticules et nanomatériaux sont au centre d'une série de questionnements portant notamment sur la dangerosité potentielle de ces produits pour l'homme comme pour l'environnement.

Nombreux sont les acteurs qui s'en préoccupent (associations de protection de l'environnement : Amis de la Terre, APPA, FIDEA, FNE, ORDIMIP, SEPANSO ; industriels : ANIA, FEBEA, UIC, MEDEF, EpE ; organismes de recherche : CNRS-CEA, INSERM ; toutes les agences d'expertises ; tous les syndicats de salariés et les associations de consommateurs ; toutes les sociétés savantes ; Associations citoyennes : VivAgora, CENG, Fondation Sciences Citoyennes, Sciences et Démocratie ; Conseils économiques et sociaux : CESE, CES de Bretagne, mais aussi Les Verts, l'AFNOR...).

Parmi eux, plusieurs acteurs de l'expertise ont mené et continuent d'effectuer des études pour évaluer leur toxicité (IReSP, INERIS, INRS, AFSSET, AFSSA), leur écotoxicité (INERIS), mais aussi leurs risques d'explosion (INERIS).

Au travers de ce paragraphe, nous allons d'abord revenir sur les travaux visant à évaluer la dangerosité des nanoparticules et des nanomatériaux. Nous examinerons ensuite ce que disent les différents acteurs de l'évaluation des expositions des personnes aux nanoparticules et aux nanomatériaux. Enfin, nous nous intéresserons aux pistes de régulation proposées dans ces cahiers d'acteurs pour protéger les travailleurs et les consommateurs.

4.3.2.1 Des travaux pour évaluer la dangerosité des nanoparticules et nanomatériaux

Des travaux sur l'écotoxicité des nanoparticules et des nanomatériaux

Des travaux sur l'impact des nanoparticules et des nanomatériaux sur l'environnement L'INERIS rapporte que les questionnements relatifs à l'impact des nanoparticules et des nanomatériaux sur l'environnement concernent la réactivité des nanoparticules et leur capacité à s'agréger suivant les caractéristiques physico-chimiques des milieux. Cet

institut explique que les connaissances en la matière demeurent actuellement limitées aussi bien pour ce qui concerne l'écotoxicité que le devenir de ces composés dans l'environnement.

Pour sa part, l'Académie des Technologies expose quelles sont les difficultés auxquelles se heurtent justement les personnes effectuant des recherches pour évaluer le comportement des nanoparticules dans l'environnement :

> *Il reste extrêmement difficile d'évaluer ces risques pour l'environnement, car ils dépendent du genre de particule, du contexte dans lequel elle se trouve, de sa quantité, des évolutions physico-chimiques ou biologiques dans les différents écosystèmes. Certaines nanoparticules peuvent réagir avec leur environnement et évoluer suivant une histoire difficilement prévisible du fait des constantes de temps à prendre en considération pour leur environnement (effet sur plusieurs générations pour la faune et la flore). (Cahier d'acteurs de l'Académie des Technologies)*

Certaines associations de protection de l'environnement font toutefois état d'études montrant que certaines nanoparticules et nanomatériaux pourraient avoir des effets délétères sur l'environnement. Ainsi la SEPANSO, se référant à un document produit par le Bureau Européen de l'Environnement, estime que la preuve est faite que les nanoparticules d'argent sont toxiques pour l'environnement. De leur côté, les Amis de la Terre mentionnent dans leur cahier d'acteurs des données mises en avant par l'observatoire des micro et des nanotechnologies sur les conséquences de l'exposition de certains poissons à des nanoparticules. Il semblerait que ces nanoparticules pourraient fixer et transporter des substances toxiques, altérer la capacité respiratoire de certaines espèces ou encore avoir des effets sur le développement embryonnaire. Les Amis de la Terre rapportent aussi les résultats des travaux d'une équipe de l'université américaine de Clemson montrant que des plants de riz exposés à des nanoparticules carbonées pouvaient subir des dommages importants.

Des inconnues sur le devenir des nanoparticules lors du retraitement des déchets Deux associations de défense de l'environnement, la SEPANSO et l'ORDIMIP, reviennent aussi sur la question de la gestion des déchets contenant des nanoparticules. Pour la SEPANSO, les solutions proposant d'incinérer les déchets contenant des nanomatériaux n'ont pas prouvé leur innocuité. De plus, cette association souligne en s'appuyant sur un document produit par le Bureau Européen de l'Environnement, que les plans de retraitement des déchets dangereux ne tiennent pas compte du cas particulier des nanoparticules.

L'analyse de la situation proposée par l'ORDIMIP concorde avec ces éléments avancés par la SEPANSO.

En passant en revue des filières de retraitement actuelles des déchets, l'ORDIMIP distingue trois catégories de déchets :

- ceux des poubelles des laboratoires et des industriels ;
- ceux qui se trouvent dans les poubelles des ménages ;
- les déchets liquides.

Pour chacune de ces catégories, l'ORDIMIP pointe l'absence de prise en compte des nanoparticules et l'absence de connaissances sur le devenir des nanoparticules dans les différentes filières de retraitement des déchets (incinération des ordures, retraitement des eaux usées...).

Par exemple, en ce qui concerne le traitement des nanoparticules contenues dans les effluents liquides, l'ORDIMIP souligne les multiples zones d'ombre :

> *on peut penser que, déjà, des nanoparticules transitent par les réseaux de collecte et atteignent les stations d'épuration urbaines et de traitement des eaux industrielles mais les traitements en place n'ont pas été étudiés pour retenir ces nano-objets. Sont-ils arrêtés ? Passent-ils à travers les mailles des filets étudiées pour des objets plus volumineux ? Finissent-ils dans les boues ? (Cahier d'acteurs de l'ORDIMIP)*

De même en ce qui concerne l'incinération des ordures ménagères, l'ORDIMIP indique que le devenir des nanoparticules lors de la combustion est largement inconnu. Cette organisation s'interroge alors : les systèmes de filtration des fumées sont-ils efficaces ? Quel est le devenir des nanoparticules dans les résidus solides issus de l'incinération ? A ce propos, l'ORDIMIP souligne d'ailleurs :

> *Il n'y a, aujourd'hui, aucun protocole de prise en compte des nanoparticules dans les mâchefers qui sont utilisés en sous couche routière et donc en contact avec le milieu naturel. (Cahier d'acteurs de l'ORDIMIP)*

L'Académie des Sciences revient également brièvement sur la question de la gestion des déchets. Comme l'ORDIMIP, cette société savante considère que la récupération de nanoparticules doit faire l'objet de recherches. En revanche, pour l'Académie des Sciences, leur élimination par combustion ou pour former des matériaux massifs (oxydes, métaux, semiconducteurs) peut se faire en utilisant des procédés classiques (chauffage, hydrolyse, ...).

Des travaux sur les risques d'explosion L'INERIS souligne aussi le caractère lacunaire des connaissances sur les risques d'explosion des nanopoudres. Face à la diversité des nanoparticules existantes, cet institut centre ses travaux sur celles qui sont produites dans des tonnages importants. Par ailleurs, l'INERIS met l'accent sur l'impossibilité d'extrapoler le comportement des nano-poudres à partir de celui des micro-poudres. Il souligne aussi la nécessité de développer une instrumentation adaptée pour disperser les poudres, ainsi que des nouvelles techniques de caractérisation.

Cet accent sur l'importance de mettre au point des techniques de caractérisation des nano-objets et sur l'impossibilité d'extrapoler leur comportement à partir de celui des micro-objets est aussi mis en avant à propos des effets de ces nanomatériaux et nanoparticules sur la santé et de l'évaluation de l'exposition des individus.

Des travaux sur la toxicité pour l'homme des nanoparticules et des nanomatériaux

Des effets possibles sur la santé mais peu de données disponibles Des résultats d'études portant sur les effets des nanomatériaux sur la santé sont répertoriés par des acteurs de l'expertise comme l'INERIS, l'IReSP et l'INRS, mais aussi par Les Verts, les Amis de la Terre, la SEPANSO, ou encore par des industriels comme la FEBEA. Ces résultats pointent souvent la nocivité des nanoparticules étudiées[19], mais ce qui ressort des contributions des différents acteurs de l'expertise, c'est aussi le caractère lacunaire des connaissances actuelles sur la dangerosité des nanoparticules.

L'AFSSA (dont les travaux sont également cités par le CES de Bretagne), qui s'est intéressée à la toxicité des nanoparticules ingérées par voie orale, rapporte que seules quelques études ont été menées sur ce sujet, essentiellement avec des métaux ou des oxydes de métal comme le sélénium, le cuivre ou le zinc. D'après l'AFSSA, les résultats inventoriés sont souvent discordants et ne permettent pas de conclure à un effet de dose, à un effet de taille ou à une relation entre les caractéristiques physico-chimiques de la particule et la toxicité.

L'INRS de son côté mentionne qu'il a été montré que dans certaines conditions expérimentales, certaines nanoparticules sont capables de franchir les barrières biologiques et de migrer vers d'autres sites de l'organisme. C'est aussi ce que rapporte l'association de protection de l'environnement, la SEPANSO qui s'appuie sur les propos d'un professeur d'épidémiologie à l'université de Bordeaux.

Pour sa part, l'IReSP explique que certaines nanoparticules, dans certaines conditions, semblent avoir des effets toxiques. Il cite

19. Sauf notamment pour la plupart des résultats d'études sur le dioxyde de titane mis en avant par la FEBEA et certains résultats obtenus par l'INERIS.

"la génération d'un stress oxydant, des effets pro-inflammatoires et pro-thrombiques, la possibilité de survenue de fibrose ou d'emphysème pulmonaire, ou des dommages génétiques"(Cahier d'acteurs de l'IReSP).

L'IReSP indique aussi que les organes cibles mis en évidence sont principalement les appareils respiratoires et cardiovasculaires.

Les Amis de la Terre se réfèrent eux, dans leur cahier d'acteurs, à un numéro de 2008 d'une revue, Toxicological Sciences, faisant le point sur les études disponibles concernant la toxicité des nanoparticules. Ils soulignent que certains de ces composés pourraient être nocifs :

"Par inhalation : les nanoparticules de dioxyde de manganèse, inhalées par le rat, se retrouvent dans les zones profondes du cerveau, provoquant un stress oxydatif qui peut altérer gravement les neurones et favoriser les maladies neurodégénératives.

Par contact : une peau irritée ou présentant une plaie semble ne pas être une barrière efficace. Alors que des nanoparticules sont utilisées depuis plusieurs années dans les cosmétiques, comme par exemple le dioxyde de titane dans les crèmes solaires, on a "oublié" par exemple - ce qui est le comble ! - que le TiO est photo-dépendant toxique et qu'il peut provoquer des cancers de la peau et du colon !

Enfin, l'ingestion : chez le rat, on a constaté que, via l'intestin, les nanoparticules touchent le système immunitaire. Le tissu lymphoïde déclenche des réactions de défense exacerbées entrainant des réponses inflammatoires et un stress cellulaire avec son panel d'altérations susceptibles de provoquer des maladies graves - cancers, allergies, troubles neurodégénératifs.-" (Cahier d'acteurs des Amis de la Terre)

Les Amis de la Terre s'intéressent aussi au cas particulier des nanotubes de carbone. Ils citent les propos d'une directrice de recherche de l'INSERM sur leur toxicité où elle fait état de travaux ayant mis en évidence des effets analogues à ceux des fibres d'amiante. Cette comparaison entre fibres d'amiante et nanotubes de carbone est fréquente. Elle figure ainsi par exemple dans le cahier d'une autre association de protection de l'environnement la SEPANSO, dans celui de l'association de consommateurs Familles Rurales ou encore dans le document du syndicat UNSA.

De son côté, l'INERIS, dont certains membres ont travaillé sur la toxicité de certains types de nanotubes de carbone lors d'expositions par inhalation, rapporte que, dans les conditions expérimentales où ils s'étaient placés, ses chercheurs n'ont pas relevé d'effets inquiétants.

L'INERIS travaille sur les nanotubes de carbone, l'un des nanomatériaux les plus prometteurs en terme d'applications industrielles. Dans les conditions expérimentales utilisées à l'Institut (instillation intra-trachéale chez l'animal), les nanotubes de carbone ne franchissent pas de façon décelable la barrière pulmonaire au-delà des ganglions. Il n'a été mis en évidence ni inflammation, ni augmentation des teneurs en collagène du poumon jusqu'à six mois après l'exposition, ce qui laisse supposer une absence de fibrose. (Cahier d'acteurs de l'INERIS).

Cet institut de recherche se montre cependant circonspect et pointe les limites des protocoles expérimentaux mis en œuvre.

Il convient néanmoins d'être prudent car ces résultats ne s'appliquent qu'aux nanotubes de carbone étudiés par l'INERIS dans la gamme de doses administrées. Or ces nanotubes sont extrêmement variés en taille, diamètre, impuretés métalliques et post-traitement éventuels. Des analyses complémentaires seront donc nécessaires pour définir précisément la pénétration dans l'organisme et la toxicité des nanotubes de carbone. (Cahier d'acteurs de l'INERIS)

Par ailleurs, la SEPANSO fait allusion à des travaux anglais publiés dans un numéro de Nature Nanotechnology datant de 2009, sur les effets des nanoparticules sur l'ADN. Les résultats de

cette recherche sont mis en avant par cette association pour justifier ses réserves vis-à-vis de la manière dont sont actuellement utilisés les nanomatériaux.

L'INRS, l'INERIS et l'IReSP mentionnent aussi que les particules nanométriques pourraient être plus toxiques que des particules de taille supérieure et de même nature chimique. Ces trois organismes soulignent cependant le peu de données disponibles.

Des difficultés pour évaluer la toxicité des nanoparticules et des nanomatériaux
Les agences d'expertises travaillant sur la toxicité des nanoparticules et des nanomatériaux rencontrent en effet plusieurs difficultés pour évaluer la dangerosité pour la santé de ces composés.

D'abord, selon l'INRS, dans le cas des nanoparticules, l'approche classique en toxicologie ou en pharmacologie qui s'appuie sur l'existence de relations dose-effet avec une dose exprimée en masse est insuffisante. Il semblerait en effet que, pour ces objets, différents paramètres autres que la masse et la composition chimique, jouent sur la toxicité. L'INRS estime ainsi que la taille, le nombre et la forme des particules, leur surface, leurs propriétés chimiques de surface ou encore, leur état d'agrégation pourrait avoir une influence sur les effets des nanoparticules.

L'Académie des Technologies indique aussi :

> *On a montré également que les effets toxiques des nanoparticules dépendent de nombreux facteurs comme leur nature chimique, leur forme, la rigidité ou la flexibilité des particules, ainsi que des doses inhalées ou ingérées. (Cahier d'acteurs de l'Académie des Technologies)*

Pour l'INRS comme pour l'IReSP, étant donné la multiplicité des nanoparticules, les difficultés pour évaluer la dangerosité des nanoparticules sont considérablement accrues. L'IReSP et l'AFSSA pointent ainsi notamment que les auteurs des études disponibles ne précisent pas toujours les caractéristiques des nanomatériaux ou des nanoparticules de manière exhaustive. Ceci rend, pour l'IReSP, ces différents travaux difficilement exploitables et comparables.

Ensuite, d'après l'INRS, les études réalisées sont peu nombreuses et elles sont menées exclusivement sur des cellules de culture ou in vivo sur des animaux. L'INRS explique que par conséquent, leurs résultats sont difficilement extrapolables à l'être humain. Il faudrait de plus pouvoir, selon l'INRS, examiner la toxicité des différents nano-objets en fonction des différentes voies d'exposition (respiratoire, cutanée, digestive).

Enfin, d'après l'AFSSA, les protocoles expérimentaux utilisés sur les animaux pour évaluer la toxicité des nanoparticules lors d'expositions par voie orale reproduisent mal les conditions réelles d'exposition des consommateurs.

Tous les acteurs de l'expertise ayant fourni un cahier d'acteurs et travaillant à évaluer la toxicité potentielle des nanomatériaux (IReSP, INERIS, INRS, AFSSA, AFSSET) se montrent donc extrêmement prudents. Ils pointent les limites de leurs connaissances en même temps que l'étendue des incertitudes sur la nocivité de ces produits. Face au peu de connaissances disponibles, l'AFSSA et l'AFSSET recommandent d'ailleurs la prudence et appellent à limiter les expositions aux nanoparticules et aux nanomatériaux.

Certaines nanoparticules et certains nanomatériaux sont toutefois utilisés industriellement et dans des tonnages importants. Syndicats (CFDT, CFE-CGC, CFTC, FO, UNSA) et associations de consommateurs (Afoc, CLCV, Familles Rurales, Indecosa-CGT) soulignent d'ailleurs dans leurs cahiers que les *"nanotechnologies font d'ores et déjà partie de notre environnement"* pour reprendre la formulation qu'emploient FO et l'Afoc.

Pour l'Union des Industries Chimiques, ces nanomatériaux utilisés à grande échelle depuis plusieurs dizaines d'années ont fait l'objet d'études et ces travaux n'ont, selon cette organisation, pas mis en évidence que ces composés seraient dangereux. Le MEDEF et l'association

Entreprises pour l'Environnement indiquent aussi que les nanomatériaux utilisés largement depuis plusieurs années ont déjà fait l'objet d'évaluations et qu'il n'y a pas lieu de s'inquiéter de leur toxicité.

C'est ce qu'affirme également la Fédération des Entreprises de la Beauté pour le cas du dioxyde de titane utilisé dans les crèmes solaires sous forme nanométrique depuis de nombreuses années. Concernant ce cas particulier, la Fédération des Entreprises de la Beauté met en avant les résultats des études qui ont porté sur la dangerosité du dioxyde de titane en contact avec la peau. Elle souligne que sous forme nanométrique, le dioxyde de titane ne passe pas sous la barrière cutanée. Cette Fédération cite toutefois aussi d'autres études sur les rats portant sur les risques par inhalation qui tendent à montrer que le dioxyde de titane pourrait être cancérigène. Elle temporise alors en mentionnant qu'une seule étude chez l'homme semble indiquer que l'exposition au dioxyde de titane pourrait être un facteur de surmortalité par cancer du rein ou du poumon. Finalement la FEBEA rappelle que le dioxyde de titane a été déclaré comme un ingrédient sûr pour les cosmétiques et rapporte que la commission européenne continue d'évaluer ce composé sous forme nano.

Si ces acteurs du monde de l'industrie ayant proposé un cahier d'acteurs estiment que les nanoparticules et nanomatériaux déjà produits à l'échelle industrielle ne posent pas de problème particulier, l'UIC, le MEDEF et la FEBEA n'écartent cependant pas le fait que certains nanomatériaux et nanoparticules pourraient se révéler toxiques pour l'homme et pour l'environnement.

Du fait de ces interrogations sur la dangerosité des nanoparticules et des nanomatériaux, la question de la maîtrise des expositions à ces composés tient aussi une bonne place dans certains cahiers d'acteur.

4.3.2.2 La mesure des expositions aux nanoparticules et nanomatériaux

À plusieurs reprises (par exemple dans les cahiers d'acteur de l'INRS et de l'INERIS), on trouve l'affirmation stipulant que le risque résulte de la conjonction de la toxicité d'un produit et de l'exposition à ce produit.

Des travaux sont donc conduits pour évaluer l'exposition des travailleurs et mieux "*évaluer et gérer le risque*" pour reprendre les termes employés par l'INRS. Pour cela les agences et instituts d'expertise travaillent notamment dans les trois directions suivantes :

- caractériser les situations d'exposition ;
- développer des méthodes de mesure d'exposition ;
- identifier les travailleurs et les entreprises concernées.

Des difficultés pour caractériser les situations d'exposition L'INRS souligne que les expositions peuvent intervenir tout au long du cycle de vie des produits contenant des nanoparticules.

Par ailleurs, étant donné le flou actuel sur les paramètres influant sur la toxicité des nanoparticules, l'INRS et l'IReSP attirent l'attention sur le fait que les indicateurs pertinents à retenir pour estimer les niveaux d'exposition ne sont pas évidents à déterminer. Les Amis de la Terre, pour leur part, considèrent qu'il n'existe pas de méthodes pour mesurer et caractériser l'exposition aux nanomatériaux. D'ailleurs la SEPANSO indique aussi que de nombreux obstacles se dressent à l'heure actuelle pour évaluer les expositions.

> *Une évaluation complète des effets de l'exposition aux nanomatériaux nécessite la connaissance des conditions de fabrication, du volume de production, des applications industrielles, des biens consommés, du comportement des consommateurs, de l'utilisation dans l'environnement et de la distribution. Actuellement ce genre*

d'information n'est disponible pour aucun matériau, ce qui rend virtuellement impossible l'évaluation des niveaux d'exposition. (Cahier d'acteurs de la SEPANSO)

Des problèmes de métrologie Une autre difficulté entrave l'évaluation des expositions. D'après l'IReSP, les Amis de la Terre, les Verts ou encore l'Académie des Technologies, les outils pour mesurer ces expositions ne sont pas toujours disponibles.

Selon l'IReSP, certains outils existent pour mesurer les concentrations en poussières, mais ils ne sont pas adaptés pour mesurer les expositions individuelles. De plus, cet acteur souligne qu'ils sont coûteux, que les procédures de mesure sont délicates à mettre en œuvre et qu'elles présentent certaines limites. L'existence d'un bruit de fond dû à la pollution ambiante constitue par exemple selon l'IReSP une difficulté supplémentaire pour mesurer les expositions à des nanoparticules manufacturées. Cette difficulté est aussi soulignée par les Amis de la Terre, les Verts et l'Académie des Technologies.

À propos de ces dispositifs de mesure, l'Académie des Technologies précise qu'il faudrait pouvoir connaître, en plus d'un dénombrement des nanoparticules en fonction de leur taille, la nature chimique des nanoparticules en présence. Ce type de mesure nécessite un appareillage adapté, et d'après l'Académie des Technologies, ce type d'appareil n'est pas encore prêt.

L'INRS estime quant à lui :

> *Il existe à ce jour des instruments permettant d'obtenir directement ou indirectement un certain nombre de caractéristiques des nanoparticules, mais la majorité ont été conçus pour des applications de recherche plutôt que pour des mesures de terrain : la tâche est complexe et relève encore du domaine des spécialistes (Cahier d'acteurs de l'INRS).*

Ce constat est aussi celui que font Les Verts qui citent un rapport de l'AFSSET paru en 2006 affirmant qu' : *"En tout état de cause, il paraît utopique de disposer avant plusieurs années d'un outil de terrain polyvalent, capable d'assurer une surveillance des milieux naturels en continu." (L'AFSSET, citée dans le cahier d'acteurs des Verts)*

Parallèlement à ces questions que posent la mesure des expositions, d'autres acteurs s'interrogent sur l'identité des entreprises et des organismes dont les travailleurs sont en contact avec les nanomatériaux.

Recensement des entreprises utilisant des nanomatériaux L'INRS et l'IReSP reviennent dans leurs cahiers d'acteurs sur différentes études menées pour cerner quelles sont les entreprises :

- qui fabriquent des nanomatériaux ;
- qui transforment et utilisent des nanomatériaux.

Ce qui ressort de l'état des lieux dressé par ces deux instituts d'expertise, c'est la difficulté à identifier les entreprises concernées. L'INRS déplore ainsi le caractère lacunaire des résultats. Selon cet institut, ces études semblent toutefois indiquer que l'industrie chimique serait parmi les industries grosses utilisatrices de nanoparticules. Pour l'IReSP, il est pourtant essentiel de connaître les entreprises concernées pour connaître et surveiller les expositions des travailleurs, proposer des mesures de protection ou encore entamer des études épidémiologiques.

À ce jour, d'après l'IReSP, aucune étude épidémiologique n'a en effet été menée. Cet acteur souligne les nombreux obstacles pour pouvoir les mener :

- il est actuellement selon lui, *"quasi impossible d'identifier précisément les évènements de santé qu'il faut surveiller en priorité" ;*
- les nanomatériaux sont très divers ;
- comme souligné plus haut, il manque actuellement des méthodes validées pour mesurer les concentrations et caractériser les aérosols nanoparticulaires.

Si l'INRS et l'IReSP mentionnent dans leurs cahiers d'acteurs l'existence d'initiatives pour identifier les entreprises utilisant ou produisant des nanoparticules, l'ORDIMIP, association étudiant le problème particulier de la gestion des déchets, fait aussi état d'enquêtes menées en 2009 auprès de laboratoires de recherche et d'industriels de la région Midi-Pyrénées, visant à dresser un état des lieux de la situation des déchets contenant des nanoparticules dans cette région. Pour l'ORDIMIP, ces enquêtes pointent les failles du système actuel de gestion des déchets industriels contenant des nanoparticules. Cet organisme souligne en particulier l'absence de prise en compte des spécificités des nanoparticules dans la réglementation et par les acteurs susceptibles d'utiliser des produits en contenant. Il pointe le déficit d'information et les difficultés pour les personnes qui souhaiteraient s'informer de le faire. Enfin, il indique aussi que certaines entreprises, s'abritant derrière le secret industriel, ont refusé de fournir des données pour l'enquête.

Face aux peu de connaissances disponibles, plusieurs acteurs proposent alors des pistes pour réguler et encadrer l'utilisation des nanoparticules et des nanomatériaux.

4.3.2.3 Régulation de l'utilisation des nanoparticules et des nanomatériaux

Un grand nombre d'acteurs formulent des recommandations ou des pistes pour réguler l'utilisation et la commercialisation des nanoparticules et des nanomatériaux. Ces recommandations visent notamment à protéger d'une part les travailleurs et d'autre part les consommateurs.

Protection des travailleurs Au rang des acteurs traitant dans leur contribution des questions de protection des travailleurs figurent un certain nombre d'acteurs de l'expertise, des regroupements d'entreprises, des syndicats et d'associations de consommateurs, des sociétés savantes, des associations de protection de l'environnement mais aussi des assemblées consultatives.

Nous allons examiner d'abord les recommandations des acteurs de l'expertise, puis des syndicats, des sociétés savantes, des associations de protection de l'environnement ou encore des assemblées consultatives pour revenir ensuite sur les mesures que mentionnent les regroupements d'entreprises ayant proposé un cahier d'acteurs.

L'AFSSET rappelle qu'à l'heure actuelle, il n'existe pas de dispositif réglementaire spécifique pour protéger les travailleurs exposés aux nanomatériaux manufacturés. Aussi, compte tenu de cette absence de cadre réglementaire et devant les nombreuses incertitudes qui entourent la dangerosité des nanomatériaux, l'INRS et l'AFSSET proposent un certain nombre de mesures pour limiter les risques pour les travailleurs fabricant ou manipulant des nanoparticules ou des nanomatériaux. L'INRS se réfère ainsi aux démarches de prévention mises en œuvre pour les risques chimiques :

> *En l'état actuel, la prévention se réfère à la réglementation concernant le risque chimique (Articles R 4412-1 à R 4412-58 du code du travail) ; la démarche de prévention qu'il convient de mettre en œuvre est alors la suivante :*
> - *optimiser le procédé pour limiter l'exposition (confinement et techniques mécanisées),*
> - *utiliser la substance sous une forme moins encline à se disperser dans l'air (pastille plutôt que suspension, plutôt que poudre)*
> - *utiliser des équipements vérifiés pour le captage à la source et la protection collective (intégrant des systèmes de filtration adaptés pour le ret),*
> - *employer un équipement de protection individuel adapté*
> - *collecter et traiter les déchets*

– *former et informer les salariés exposés*
– *mettre en place un suivi d'exposition des salariés (types de nanoparticules, quantités, opérations et tâches, moyens de prévention, etc.).*

Cette démarche de prévention exige donc entre autres, de limiter l'exposition des salariés et d'en assurer la traçabilité. (Cahier d'acteur de l'INRS)

Ces recommandations sont très proches de celles mises en avant par l'AFSSET. L'AFSSET préconise en effet :

– de limiter les expositions (l'AFSSET conseille aussi de minimiser le nombre de salariés dans les zones à risques),
– de remplacer au maximum les substances toxiques par d'autres moins dangereuses,
– de choisir d'utiliser des nano-objets sous une forme qui se disperse moins facilement,
– d'optimiser les procédés de fabrication,
– de former les salariés,
– de mettre à disposition des équipements de protection individuelle.
– Enfin, l'AFSSET met aussi l'accent sur l'importance de suivre les expositions et de surveiller la santé des salariés.

Ce dernier aspect de suivi des expositions et de mise en place d'une veille sanitaire figure également dans le cahier de l'IReSP. La mise en place de ce suivi nécessite pour l'AFSSET et l'IReSP que les médecins du travail soient informés de la dangerosité possible et particulière des nanoparticules et des nanomatériaux. L'IReSP rappelle cependant la difficulté de proposer cette surveillance médicale des travailleurs du fait du caractère limité des connaissances actuelles sur la toxicité des nanoparticules et des nanomatériaux.

Les agences d'expertises ne sont pas les seuls acteurs à se préoccuper de la protection des travailleurs. Ainsi, des assemblées consultatives, des sociétés savantes, des associations de protection de l'environnement ou des syndicats mettent en avant des recommandations similaires à celles de l'AFSSA, de l'IReSP ou de l'INRS.

Le CES de Rhône Alpes demande à ce que soient limitées les expositions des travailleurs. L'association FNE, elle, parle de "danger d'exposition par ignorance". Aussi cette organisation, tout comme l'ORDIMIP met en avant l'importance d'un étiquetage adapté des produits en milieu professionnel.

Le CES de Rhône Alpes, de même que l'Académie des Technologies, souhaiteraient également que les formations des personnes aux contact des nanotechnologies soient adaptées pour tenir compte de la possible dangerosité des nanoparticules et des nanomatériaux. En matière de formation, l'ORDIMIP voudrait de plus que tous ceux ayant des responsabilités sur l'organisation du travail au sein des entreprises et sur le suivi des salariés (responsables "Qualité Hygiène Sécurité Environnement", élus, agents de l'État, dirigeants de TPE et PME, artisans, médecins du travail) suivent aussi des formations adaptées sur les nanotechnologies. L'association de protection de l'environnement FNE rappelle également l'importance que les personnels d'intervention d'urgence soient au fait des spécificités des nanoparticules et des nanomatériaux.

Le CESE mais aussi le CES de Rhône Alpes et FNE mettent finalement l'accent sur l'importance d'assurer un suivi médical des salariés au contact de nanoparticules ou de nanomatériaux. Ils attirent aussi l'attention sur le cas particulier des entreprises de sous-traitance. Pour sa part, l'Académie des Technologies demande à ce que soient tracées les expositions. Ce dernier aspect doit permettre, selon cette société savante, de mener ensuite des études épidémiologiques sur certaines particules supposées à risque. L'Académie des Technologies met cependant le doigt sur les disparités en matière d'organisation de la prévention au travail entre PME et grosses structures.

Enfin pour prendre en charge ces questions de protection de salariés, le CESE propose d'impliquer les Comités d'Hygiène Sécurité et des Conditions de Travail dans les entreprises.

La majorité des syndicats et deux associations de consommateurs s'attardent aussi dans leurs cahiers d'acteurs sur la protection de la santé des travailleurs. Plusieurs éléments sont avancés. Nous avons en particulier identifié cinq requêtes récurrentes dans leurs cahiers d'acteurs.

- Une demande rencontrée à plusieurs reprises concerne l'implication des travailleurs dans les prises de décisions concernant leur sécurité (CFDT, CFTC, Indecosa-CGT).
- Une autre concerne l'exigence de traçabilité des nanoparticules et des nanomatériaux (CFDT, CFTC) et des expositions (CFDT, CFE-CGC) ;
- Plusieurs acteurs demandent aussi une meilleure information des travailleurs (CFDT, CFTC, Familles Rurales) ;
- La CFE-CGC, FO, Familles Rurales et l'indecosa-CGT demandent la mise en place d'une veille sanitaire ;
- Enfin, certains acteurs soulignent que tous les salariés doivent bénéficier des mêmes dispositions de protection et mentionnent l'importance de tenir compte des cas de sous-traitance (CFDT, FO, Indecosa-CGT) ou de travail intérimaire (CFDT).

Certains syndicats mentionnent aussi le rôle que pourrait jouer la médecine du travail (CFE-CGC) et les comités d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail pour prendre en charge et vérifier l'application de ce type mesures de prévention (CFDT, CFE-CGC, FO, Indecosa-CGT). Des difficultés sont cependant relevées. Elles concernent d'une part le recensement des entreprises concernées (CFE-CGC) et d'autre part l'incertitude sur l'efficacité des protocoles et des mesures de sécurité (CFTC). La CFDT demande à ce propos que des recherches en métrologie soient menées de toute urgence.

Parallèlement à ces demandes concernant la protection des travailleurs, les acteurs industriels ayant proposé un cahier d'acteurs mettent l'accent de leur côté sur le fait qu'ils ne sont pas restés les bras croisés à attendre que paraissent des résultats sur la toxicité des nanoparticules et des nanomatériaux pour protéger leurs salariés.

Le MEDEF et Entreprises pour l'Environnement expliquent que leurs membres tiennent compte de cette situation d'incertitude et mettent en place des moyens de protection collectifs et individuels. EpE met aussi l'accent sur le rôle de l'AFSSET pour améliorer la détection et la prévention, et surtout sur celui de la médecine du travail pour assurer un suivi médical des salariés.

Pour leur part, la Fédération des entreprises de la beauté (FEBEA), Sitelesc et l'Union des Industries Chimiques énumèrent les mesures prises dans leur secteur en particulier. Il s'agit essentiellement :

- d'identification des sources d'exposition (Sitelesc) : Sitelesc indique que dans le cas des industries des semi-conducteurs, seules certains opérations de maintenance pourraient mettre les salariés au contact de nanoparticules.
- de dispositions pour limiter les situations où les travailleurs risquent d'être au contact de nanoparticules (FEBEA, UIC) : La FEBEA explique que les composés nano sont produits de manière à ce qu'il n'y ait pas de contact avec l'homme et l'UIC affirme que des moyens sont déployés pour éviter le contact avec les produits contenant des ingrédients nanométriques y compris dans les situations de transport, de stockage des produits ainsi que lors de leur retraitement en fin de vie.
- de mesures pour mettre à disposition du matériel (masques, gants, lunettes, combinaisons...) pour protéger les individus manipulant des nanoparticules ou des nanomatériaux (FEBEA, Sitelesc, UIC) ;
- de mesures de protection collective (Sitelesc, UIC) : Sitelesc dont les travailleurs travaillent en salle blanche mentionne essentiellement l'utilisation de systèmes de captation et de filtrage adaptés aux nanoparticules et l'Union des industries chimiques indique tra-

vailler dans cinq directions :
  - l'ergonomie des postes,
  - l'équipement des postes en systèmes de captation et de filtrage,
  - l'organisation des équipes,
  - la formation du personnel,
  - le suivi médical des salariés.
- d'efforts pour rédiger des guides de bonnes pratiques (FEBEA, UIC).

Tous ces acteurs du monde de l'entreprise prennent donc soin de souligner les mesures prises pour protéger les travailleurs qu'ils emploient. L'UIC parle d'ailleurs *"d'approche responsable"*.

Par ailleurs, les acteurs de l'industrie qui ont fourni un cahier pour le débat public de la CNDP se préoccupent aussi de rassurer et d'informer les utilisateurs de leurs produits. La protection des consommateurs fait en effet également l'objet de discussions.

Protection des consommateurs La question de la protection des consommateurs et plus généralement des citoyens qui vivront dans un monde où de nombreux produits contiendront des nanomatériaux est soulevée par plusieurs acteurs (INC, Sciences et Démocratie, Fondation Sciences Citoyennes, CES de Bretagne, Les Verts...)

Plusieurs d'entre eux font référence au principe de précaution, soit pour demander que certains produits contenant des nano-objets soient commercialisés de façon responsable (INC), soit pour demander son application et interroger la capacité de nos sociétés à mettre en œuvre ce principe au moment où certains "nanoproduits" sont commercialisés alors même que pèsent sur eux des soupçons de toxicité (Sciences et Démocratie, CES de Bretagne). Plusieurs acteurs (CES Bretagne ; Fondation Sciences Citoyennes, Sciences et Démocratie ; Les Verts) soulignent en effet dans leur contribution aux débats publics que plusieurs produits contenant des nanotechnologies sont déjà sur les rayonnages des magasins.

La question de la commercialisation des nanoproduits suscite alors plusieurs prises de positions.

Le CES de Bretagne souhaiterait qu'aucun produit contenant des nanoparticules ou des nanomatériaux manufacturés dont l'innocuité n'aurait pas été prouvée par des études, ne soit commercialisé. Cette assemblée consultative régionale s'interroge d'ailleurs :

> *Faut-il aller jusqu'à suspendre la commercialisation des "nanoproduits" n'ayant pas fait l'objet de telles études ? La question mérite d'être posée. (CES de Bretagne)*

Certains acteurs (le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie, la Fondation Sciences Citoyennes, les Verts, les Amis de la Terre) sont plus incisifs et demandent l'établissement d'un moratoire sur la commercialisation. Pour les Verts, ce moratoire est un préalable nécessaire qui doit être suivi de *"la mise en place d'une autorisation européenne de mise sur le marché des nano-produits*" pour reprendre leur expression.

En revanche, d'autres comme l'INC souhaitent que certaines mises sur le marché de "nanoproduits" soient autorisées même si leur innocuité n'a pas été démontrée. Ces acteurs énoncent alors un certains nombre de mesures nécessaires à "une mise sur le marché responsable[20]". L'INC demande par exemple :

- de clarifier les définitions des nanotechnologies ;
- de recenser les produits de consommation contenant des nanomatériaux et des nanotechnologies et de déclarer tous ceux qui ne font pas l'objet d'une autorisation de mise sur le marché auprès d'un organisme centralisateur ;
- d'assurer la traçabilité de ces produits ;
- d'évaluer les risques et de réévaluer de manière périodique le calcul bénéfice/risque pour chaque produit ;

20. pour reprendre les termes de l'INC

– de mettre en place un étiquetage et d'informer les consommateurs ;
– de mettre en œuvre une veille sanitaire ;
– d'adapter la réglementation.

Ces différentes demandes se retrouvent aussi chez d'autres acteurs qui affichent leurs réserves face à la possible commercialisation des produits contenant des nanotechnologies.

Eclaircissement des définitions et normalisation La clarification des définitions et la demande de mise en place de normes sont des éléments que mentionnent plusieurs acteurs.

Le CES de Bretagne et l'APPA souhaitent l'adoption de définitions claires afin de faciliter les débats. D'autre part, le CES de Bretagne estime que cet éclaircissement des définitions simplifierait la mise en place d'une réglementation. L'Académie de Pharmacie recommande aussi que les terminologies employées par les différents acteurs soient harmonisées. Enfin, le MEDEF et EpE souhaiteraient que les définitions et les nomenclatures soient standardisées au niveau international.

L'Académie des Technologies, le MEDEF, EpE, FO, la CFE-CGC, l'Indecosa-CGT, le CESE et le CES de Rhône Alpes appellent aussi de leurs vœux la mise en place d'une normalisation. FO indique que développer des normes sert notamment à protéger les individus, en leur garantissant que les produits qu'ils utilisent répondent à des critères définis. De plus, la normalisation est également présentée par l'Indecosa-CGT comme un auxiliaire facilitant la définition d'une législation. Enfin, la mise en place de normes permettrait, selon l'Indecosa-CGT et la CFE-CGC, de garantir la qualité des produits contenant ou issus des nanotechnologies mis sur le marché en France.

À ce propos, EpE affiche son soutien à l'AFNOR.

Cette agence nationale de normalisation a d'ailleurs proposé un cahier d'acteurs où elle donne un aperçu des efforts déployés pour mettre en place une normalisation sur les nanoparticules et les nanomatériaux. L'AFNOR souligne notamment les activités de l'organisation internationale de normalisation ISO dont les différents groupes de travail répartissent leurs efforts autour de quatre projets portant sur :
– les terminologies et les nomenclatures ;
– le mesurage et la caractérisation ;
– la santé, la sécurité et l'environnement ;
– et enfin, la spécification des matériaux.

Pour l'AFNOR, même si les normes ne portent pas en elles-mêmes d'aspect contraignant, elles permettront de garantir la sécurité et la qualité des produits tout au long du cycle de vie des produits. L'AFNOR affirme alors que, selon elle, la France doit mobiliser des moyens suffisants pour être en mesure d'influer sur les travaux de normalisation actuellement en cours à l'échelle internationale. De plus, selon l'AFNOR, l'intérêt de jouer un rôle dans l'établissement de normes sur les nanotechnologies est d'autant plus important que ces travaux risquent d'avoir une influence considérable lors de la mise en place de réglementations.

Réglementation À propos de réglementation, plusieurs acteurs expriment le souhait que la réglementation encadrant l'utilisation et en particulier la commercialisation des produits contenant des nanoparticules et des nanomatériaux soit adaptée.

Nous avons pu identifier plusieurs préconisations parfois récurrentes dans différents cahiers d'acteurs.

– Certains acteurs demandent d'agir au niveau national mais aussi européen (Sciences et Démocratie, CFDT), voire planétaire (FO, CLCV) : La CFDT rappelle que les marchandises circulent librement en Europe. Par conséquent, ce syndicat estime qu'il est indispensable de réglementer à un niveau européen. Ne pas agir à cette échelle lui semblerait de plus inadapté puisque, selon la CFDT, les citoyens et salariés le souhaitent. FO, de son côté, avance un autre argument qui l'amène à exiger la mise en place d'une

"gouvernance mondiale des nanoproduits". Cette organisation souligne en effet que les nanoparticules ne s'arrêteront pas aux frontières. Enfin, la CLCV se déclare également en faveur de dispositions réglementaires valables à l'échelle mondiale. Pour cette association de consommateurs, agir seulement à l'échelle européenne n'est pas suffisant car ces réglementations seraient vraisemblablement attaquées comme entraves à la concurrence.

- Certains acteurs préconisent de s'appuyer sur les réglementations existantes et en particulier sur le réglement REACH (CESE, CES de Rhône Alpes, Académie de Médecine et Académie des Technologies ; Sciences et Démocratie ; Les Verts ; CFDT, CFTC, CFE-CGC, FO, Afoc, CLCV, Indecosa-CGT) ou bien sur les réglementations sectorielles (UIC, ANIA, FEBEA, MEDEF) pour encadrer la mise sur le marché de produits contenant des nanoparticules et des nanomatériaux ; Plusieurs acteurs soulignent toutefois la nécessité d'adapter le réglement REACH pour tenir compte des spécificités des nanoparticules (CFTC, Indecosa-CGT) et en particulier d'aménager la clause portant sur le tonnage limite à partir duquel il s'applique (CFTC, CLCV, FO, Afoc, Indecosa-CGT).
- Le CES de Bretagne souhaite pour sa part que soient rendues obligatoires les études de toxicité avant toute mise sur le marché de nouveaux produits "nano" ;[21]
- Plusieurs acteurs demandent aussi que soient recensés les fabricants et utilisateurs industriels de nanomatériaux (CFTC, FNE) ainsi que les nanoproduits (CFTC, CLCV, Indecosa-CGT, CESE, FNE) par exemple en contraignant les industriels produisant ou utilisant des nanoproduits à les déclarer (CESE, Indecosa-CGT) auprès d'agences sanitaires comme l'AFSSA ou l'AFSSET (CES de Bretagne), d'une agence indépendante adossée à l'AFSSA (Indecosa-CGT) ou d'un organisme centralisateur (INC) ;
- Le CES de Rhône Alpes, lui, demande de mettre en place des procédures facilitant la traçabilité des produits contenant des nanoparticules ou des nanomatériaux ;
- FNE souhaiterait que soit prévue la surveillance des diverses installations fabricant ou utilisant des nanoparticules. Cette surveillance serait effectuée par les agents de l'État qui surveillent la qualité de l'air et des eaux de surface à proximité de ces installations (FNE) ;
- Vu la diversité des produits où peuvent être intégrés des "nanos", plusieurs acteurs préconisent également de ne pas raisonner de manière globale pour légiférer mais de procéder par famille de produits voire d'examiner chaque produit au cas par cas (CESE, CES de Rhône Alpes, Indecosa-CGT) ;
- Certains voudraient que la législation tienne compte du problème des déchets contenant des nanoparticules (FNE, ORDIMIP). L'ORDIMIP souhaiterait de plus conditionner l'octroi de financements publics à des laboratoires ou à des entreprises, à la tenue d'une réflexion sur le devenir des produits contenant des nanoparticules développés grâce à ces fonds ;
- Certains acteurs demandent aussi que cette réglementation soit revue régulièrement pour tenir compte de l'apparition de nouvelles études et de nouvelles données sur ces substances (Académie de Médecine). Face à ces incertitudes, il est aussi souhaitable, selon l'Académie des Technologies et l'INC, d'évaluer et de réévaluer de manière constante ce rapport bénéfice/risques pour endiguer les possibles effets néfastes le plus efficacement possible.
- Enfin plusieurs acteurs demandent que l'on s'assure de l'efficacité de ces réglementations (MEDEF, FO, Afoc). Pour ce faire, le MEDEF voudrait que la réglementation soit doublée de contrôles rigoureux des productions et des importations des produits. De leur côté, FO et l'Afoc souhaitent d'une part l'établissement d'un partenariat entre une autorité administrative spécialement créée et la Direction Générale de la Consommation, de la Concurrence et de la Répression des Fraudes. D'autre part, ces deux organisations souhaitent qu'un rapport soit publié annuellement sur ces questions et que des sanctions

21. Cette exigence serait incluse dans un réglement REACH adapté aux nanotechnologies.

soient prévues en cas d'infraction.
- Plusieurs acteurs (Académie de Médecine, Les Verts) reviennent aussi sur le cas particulier des nanoparticules et des nanomatériaux utilisés en pharmacologie. En matière de délivrance d'une autorisation de mise sur le marché de substances médicamenteuses, l'Académie Nationale de Médecine demande que les médicaments possédant des cargos nanos se voient accordés une identité propre rendant caduque les autorisations de mise sur le marché antérieures. Les Verts pointent aussi le vide réglementaire entourant la pharmacologie.

> *"La Haute Autorité de Santé devrait mettre en garde sur le vide règlementaire qui existe lorsque l'on passe "discrètement" de la pharmacologie classique à la pharmacologie "nano". Les processus d'évaluation des médicaments, garde-fous indispensables, pourraient être court-circuités dès lors qu'il s'agit d'objets technologiques comme une caméra embarquée ou un robot." (Les Verts)*

Le LEEM indique cependant que la réglementation sectorielle en matière de mise sur le marché de nouveaux médicaments est déjà extrêmement contraignante.

Enfin, la fédération des entreprises de la beauté met en exergue le règlement cosmétique qui a été voté en 2009 par le parlement européen et estime être *"pionnière de l'encadrement des nanomatériaux"*. Ce réglement impose aux entreprises du secteur des cosmétiques souhaitant commercialiser des produits contenant des nanomatériaux :
- d'en informer la Commission Européenne 6 mois avant la mise sur le marché ;
- d'indiquer la présence de nanomatériaux dans la liste des ingrédients grâce à la mention [nano] derrière le nom de l'ingrédient.

La question de l'étiquetage et de l'information des consommateurs sur la toxicité des produits est d'ailleurs un objet de préoccupation que nous avons rencontré à plusieurs reprises dans les cahiers d'acteurs du débat de la CNDP.

Information et étiquetage Beaucoup d'acteurs (INC ; Assemblées consultatives : CESE, CES de Bretagne, CES de Rhône Alpes ; Associations Citoyennes : CENG, Collectif français membre du FMSD, Sciences et Démocratie ; groupement d'entreprises : ANIA, EpE, MEDEF ; Sociétés Savantes : Académie de Pharmacie, de médecine ; Syndicats et associations de consommateurs : CFDT, CFTC, FO, Afoc, Familles Rurales, l'Indecosa-CGT ; Associations de protection de l'environnement : FNE, ORDIMIP) se préoccupent de l'information des consommateurs ou des utilisateurs et parfois plus largement du "public" sur ces questions de toxicité des nanoparticules et des nanomatériaux.

Étiquetage Parmi eux, certains acteurs (le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie ; le CESE, le CES de Bretagne, le CES de Rhône Alpes ; l'Afoc, Familles Rurales, l'Indecosa-CGT, FO et la CFTC ; FNE, ORDIMIP) proposent qu'un étiquetage adapté soit mis en place pour informer les utilisateurs de la présence de nanoparticules ou de nanomatériaux dans les produits qu'ils achètent ou qu'ils manipulent. FNE ajoute que cet étiquetage permettrait :
- aux personnes d'éviter de consommer ces produits possiblement dangereux, élément que FNE considère comme indispensable d'un point de vue éthique ;
- aux scientifiques de mieux évaluer les expositions mais aussi de mieux cerner les caractéristiques des nanoproduits mis sur le marché.

Le CES de Rhône Alpes et le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie précisent d'ailleurs que cet étiquetage clair doit être harmonisé au niveau européen.

D'autres acteurs, au contraire, se montrent plus réservés vis-à-vis de ces propositions de mise en place un étiquetage. L'INC se déclare favorable à ce qu'il soit précisé sur l'emballage s'il contient des produits sous forme nano. Toutefois cette institution met en garde contre les

possibles effets *"anxiogènes"* de certains étiquetages et voudrait par ailleurs que les mentions du type "sans nanomatériaux" soient interdites. Ce positionnement de l'INC, qui fait écho à ses prises de positions estimant qu'une partie des citoyens pourraient refuser les nanotechnologies simplement par crainte de la nouveauté, n'est pas partagé pas tous : l'Afoc et Familles Rurales voudraient en effet que les mentions "sans nano" soient acceptées.

Sciences et Démocratie qualifie pour sa part d'aberrante le réglement européen encadrant la commercialisation des cosmétiques imposant l'apposition de la mention "nano" sur les produits. Sciences et Démocratie considère en effet qu'une simple mention "nano" ne signifiera peut-être rien pour les consommateurs voire même que cette étiquette pourrait avoir l'effet inverse d'une mise de garde. De plus, cette association souligne le caractère lacunaire de l'information que donne cet étiquetage. Sciences et Démocratie demande donc qu'un débat public soit ouvert pour apporter un nouvel éclairage sur la question de l'information des consommateurs en matière de risques.

L'étiquetage des produits constitue, de fait, un premier niveau d'information assez sommaire. D'autres acteurs souhaitent développer des actions d'information un peu plus ambitieuses.

Information Le CENG exprime la nécessité d'accroître le nombre des actions de formations destinés à de larges publics.

Le MEDEF souhaite également que, sous l'impulsion de l'État, des informations scientifiquement valides soient mises à disposition par les "agences" (sans doute d'expertise).

Du côté des syndicats et des associations de consommateurs, FO et la CFTC souhaitent aussi que les résultats produits sur la toxicité et l'écotoxicité des nanoparticules et des nanomatériaux soient rendus publics et que des informations soient mises à disposition de tous. La CFDT et la CLCV estiment cependant que ces informations demeurent souvent inintelligibles pour les non-spécialistes. Ces deux organisations souhaitent par conséquent que les producteurs de connaissances fassent un effort pour rendre accessibles au plus grand nombre les informations dont ils disposent sur les nanotechnologies et en particulier sur leur possible dangerosité. La CFDT propose alors de créer des postes de médiateurs qui se chargeraient de "populariser", pour reprendre le mot que ce syndicat emploie, les travaux de différentes agences sanitaires (AFSSA, AFSSET...). Ce syndicat suggère aussi qu'une instance nouvelle ou déjà existante soit chargée de communiquer sur les nanotechnologies en direction des parlementaires et des citoyens. La CLCV, elle, parle d'un *"droit de savoir"* et souligne la nécessité que les citoyens puissent également débattre avec les experts de leurs méthodes d'évaluation. Ainsi parmi les lieux où pourrait prendre place ce que la CLCV appelle une *"vulgarisation de l'expertise"*, cette association de consommateurs mentionne des médias traditionnels plus ou moins interactifs (télévision, radio, sites internet) mais aussi des conférences de consensus et des débats publics. Elle range d'ailleurs ces derniers processus délibératifs dans la catégorie des *"efforts de communication"*.

L'INC demande aussi à ce que des banques de données répertoriant des informations sur les produits contenant des nanoparticules ou des nanomatériaux soient mises à la disposition du grand public. Cet institut souhaiterait également que des dispositions soient prises pour que les consommateurs aient la possibilité de s'adresser à une structure de réclamation bien définie en cas de lacunes du dispositif d'information.

En ce qui concerne les sociétés savantes, l'Académie des Technologies se demande :

> *"Comment informer le public sans démagogie et sans susciter des peurs infondées ?"*

L'enjeu de l'information du public est, pour l'Académie des Technologies, la construction d'un *"rapport de confiance"* pour dépasser ce qu'elle regarde comme un débat inextinguible entre

technophiles et technophobes et permettre *"une approche sereine des innovations technologiques "*.

Pour l'Académie de Pharmacie, les pharmaciens ont un rôle clé à jouer dans l'information des patients sur les rapports bénéfices/risques des nanomatériaux. Il est donc nécessaire, selon cette académie, que des formations appropriées leur soient dispensées. L'Académie de Pharmacie insiste également dans ses recommandations sur l'importance, selon elle, d'informer le public en particulier pour lui montrer les avantages que peuvent avoir les nanotechnologies pour certains patients.

L'Académie Nationale de Médecine parle aussi de la mission d'information qui reviendrait au corps médical, en cas de "*complications sanitaires"* liées aux nanotechnologies. L'Académie Nationale de Médecine considère alors que l'information du public, par le biais des médecins, serait un impératif, quels que soient les enjeux politiques ou économiques.

Enfin, le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie demande que "les acteurs éducatifs" s'attèlent à la tâche pour mettre en place des programmes d'éducation sur les nanosciences et les nanotechnologies, à l'instar de ce qui existe pour "l'éducation au développement durable". Pour ce collectif, il est en effet nécessaire de mettre l'accent sur l'éducation afin que les citoyens puissent réellement exercer un "contrepouvoir démocratique [22]". Nous y reviendrons un peu plus tard.

Développer les recherches sur la toxicité, l'écotoxicité, la métrologie Si plusieurs acteurs soulignent l'importance de développer l'information des consommateurs et "du public", nombreuses sont les voix qui s'élèvent aussi pour plaider en faveur du développement des recherches :

- sur la toxicité et l'écotoxicité (ANIA, EpE, UIC, Medef ; CESE, CES de Bretagne, CES de Rhône Alpes ; Académie de Médecine ; Sciences et Démocratie, collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie, Fondation Sciences Citoyennes ; FNE, ORDIMIP),
- sur la métrologie (CESE ; Académie de Médecine et de Pharmacie ; ORDIMIP) des nanoparticules et des nanomatériaux,
- sur les méthodologies d'évaluation de la sécurité (ANIA, EpE),
- ou encore sur le devenir des nanoparticules lors du traitement des déchets (ORDIMIP).

Ces acteurs mettent pour certains en avant :

- l'importance de réaliser des évaluations pour pouvoir ensuite faciliter une mise sur le marché des nano-produits (ANIA) ;

- l'importance de cibler les nanoparticules ou les nanomatériaux les plus utilisées ou appliquées au corps humain (CESE) ;

- l'importance d'initier des études épidémiologiques sur l'ensemble de la population (CESE ; UIC) ;

- l'importance de se doter d'un potentiel humain suffisant pour mener ces recherches (CESE) ;

- l'importance de renforcer les collaborations supranationales (Académie des Technologies) ;

- et enfin l'importance d'avoir un système réactif permettant de cibler rapidement des projets prioritaires en cas d'apparitions d'effets sanitaires imprévus (Académie de Médecine).

Quelques acteurs (EpE, UIC ; Conseil Régional d'Île de France) soulignent aussi dans leurs cahiers les efforts qu'ils ont déjà mis en place pour participer ou favoriser ces recherches.

Enfin, nombreux sont ceux qui demandent également qu'une part plus importante des budgets de recherche alloués aux nanosciences et aux nanotechnologies soit consacrée à ces questions (EpE ; Sciences et Démocratie, collectif français membre du Forum Mondial

22. les trois expressions entre guillements sont celles qu'emploient ce collectif

Sciences et Démocratie et la Fondation Sciences Citoyennes). Nous y reviendrons plus tard, lorsque nous traiterons des rapports entre enjeux économiques, sociaux et géostratiques, et développements scientifiques et technologiques.

Finalement, les questions sanitaires et environnementales suscitées par la production rationnalisée, voire à grande échelle, de nanoparticules et de nanomatériaux sont donc de différents ordres :

- Certaines sont d'ordre scientifiques et technologiques :
  - Certains de ces produits peuvent-ils être dangereux pour les hommes qui les fabriquent ou les manipulent ?
  - Certains de ces produits peuvent-ils être dangereux pour l'environnement ?
  - Quels sont les indicateurs pertinents à retenir pour estimer leur nocivité ?
  - Comment détecter la présence de ces produits et discriminer à quels nanoparticules ou nanomatériaux l'on a affaire ?
  - Comment mettre au point des outils et des protocoles de mesures de l'exposition des individus à ces produits ?
  - Selon quels protocoles expérimentaux peut-on estimer la dangerosité potentielle de ces produits sur la santé ou sur l'environnement ?
  - Peut-on recycler ces produits et quelles sont les possibilités pour gérer les déchets générés ?

  La figure 4.1 illustre que ce sont essentiellement les instituts de recherche et d'expertise comme l'INRS, l'AFSSET, l'AFSSA, l'IReSP ou l'INERIS, des associations de protection de l'environnement tels les Amis de la Terre, la SEPANSO ou l'ORDIMIP ou encore l'Académie des Technologies qui se saisissent de ces questions.
- D'autres sont d'ordre politiques :
  - Quelles mesures prendre pour protéger les travailleurs ?
  - Quelles mesures prendre pour protéger les consommateurs et protéger l'environnement et qui peut prendre ces mesures ?
    - Va-t-on autoriser la commercialisation de ces produits ? Si oui, à quelle condition ?
    - Va-t-on rendre obligatoire un étiquetage de ces produits ? Si oui, quelle forme doit-il prendre ? Comment informer les consommateurs ?
  - Peut-on et faut-il limiter les importations de ces produits ?
  - Quelles seront les priorités en matière de recherche ?
    - Quelle part des financements sera accordée à la recherche sur la toxicité de ces produits ?
    - Est-il souhaitable de poursuivre des efforts de recherches sur ces nanoparticules et nanomatériaux ?

  La figure 4.1 met en image la multiplicité des acteurs qui s'emparent de ces questions. Dans l'embrouillamini touffu des noms d'acteurs et des objets de préoccupation de la partie inférieure du graphique, on peut remarquer que les noms des syndicats de salariés et ceux de la plupart des fédérations d'entreprises sont, sur notre carte, situés entre les pôles "Protection des travailleurs" et "Réglementation". À leurs côtés figure aussi celui de l'association de protection de l'environnement FNE. Par ailleurs, en matière de réglementation plusieurs pistes ressortent : s'appuyer sur les réglementations existantes et s'appuyer sur REACH.

  Deux autres pistes de régulation sont également enflées par les nombreux liens qui les unissent à des acteurs assez divers : Informer les citoyens et les consommateurs et développer les recherches sur la dangerosité. Ces nœuds sont connectés notamment à celui de l'INC, de Sciences et Démocratie, à ceux d'Académies : de Médecine et de Pharmacie ; à ceux d'assemblées consultatives : CESE, CES de Bretagne, CES de Rhône Alpes ; à ceux de regroupements d'entreprises : MEDEF, ANIA. Par ailleurs, à proximité

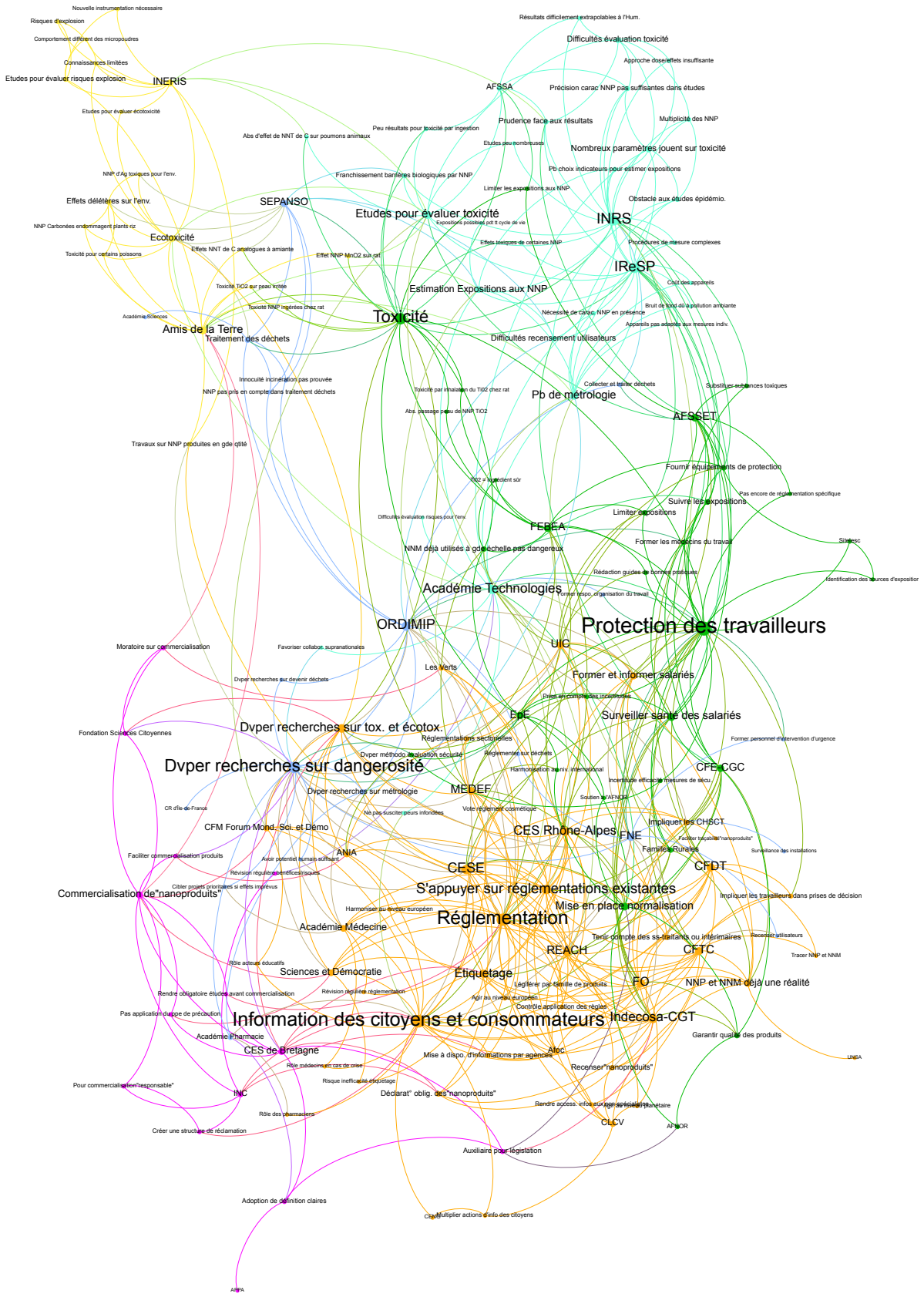


FIGURE 4.1 – Objets de préoccupation des différents acteurs relatifs aux aspects santé et environnement

du pôle information des citoyens et consommateurs on trouve aussi des associations de consommateurs : Afoc, CLCV...
Enfin, la densité des liens et des nœuds dans cette partie basse de la figure 4.1 témoigne de la diversité des pistes de régulation avancées pour tenir compte des interrogations soulevées par la toxicité et l'écotoxicité des nanoparticules et des nanomatériaux. Elle donne aussi une idée du poids et la fréquence d'apparition de ces thématiques dans les cahiers d'acteurs fournis pour le cycle de débats publics de la CNDP.

Voilà donc brossé à gros traits le panorama des objets de préoccupation poussant en bataille autour d'un même fil conducteur : celui de la dangerosité possible des nanoparticules et nanomatériaux.

Nous allons à présent continuer ce tour d'horizon des objets de discussions au cœur des débats sur les développements des nanotechnologies en revenant sur les questions soulevées par leurs utilisations en médecine.

4.3.3 Les nouvelles perspectives pour la médecine et les questionnements sur l'homme et le vivant

4.3.3.1 De multiples perspectives d'utilisations en médecine

Parmi les perspectives ouvertes par les développements des nanosciences et des nanotechnologies qui sont présentées comme enthousiasmantes, on retrouve souvent citées les applications à la médecine (CESE ; LEEM, MEDEF ; CNRS-CEA, INRIA, INSERM ; CNISF ; APPA ; Académie de Pharmacie, Académie des Sciences, Académie Nationale de Médecine ; CFDT, CFTC, CFE-CGC, FO, CLCV, Familles Rurales, Indecosa-CGT). Quelques acteurs indiquent même que les nanotechnologies permettent d'espérer mieux combattre des maladies graves ou incurables comme le sida (Indecosa-CGT, LEEM), certains cancers (FO, Indecosa-CGT, LEEM, INSERM) ou encore des maladies neurodégénératives (INSERM).

Nous avons ainsi identifié trois grandes catégories d'avancées dans le domaine médical auxquelles se réfèrent ces cahiers d'acteurs :

- la première concerne la mise au point de nouveaux outils pour améliorer les diagnostics ;
- la seconde regroupe les pistes d'amélioration des traitements ;
- enfin, la troisième et dernière catégorie concerne les perspectives ouvertes pour la médecine réparatrice mais aussi la pose d'implants biocompatibles et les progrès de l'électronique médicale.

De nouveaux outils de diagnostic Plusieurs acteurs (CFE-CGC, CLCV, Indecosa-CGT ; CNRS-CEA, INSERM, INRIA ; APPA ; LEEM ; Académie des Sciences, Académie de Médecine ; CESE ; CNISF) parlent dans leur cahier de perspectives ouvertes par les nanotechnologies pour améliorer les diagnostics. Certains acteurs illustrent d'ailleurs quels sont ou pourraient être ces nouveaux outils ; il s'agirait par exemple :

- de capteurs d'imagerie médicale (CNRS-CEA),
- de nouveaux outils pour effectuer des analyses médicales (APPA ; Académie des Sciences, Académie de Médecine ; CNISF ; LEEM) comme les biopuces (Académie de Médecine) : les puces à ADN (CNISF, LEEM), les puces à protéines (LEEM) ou les puces à cellules (LEEM),
- d'utiliser des nanoparticules comme sondes fluorescentes (INSERM),
- d'utiliser des puits quantiques fixés à des protéines pour suivre leur trafic intracellulaire ou membranaire (Académie des Sciences),
- d'utiliser des nanoparticules magnétiques pour l'IRM (INSERM)...

L'INSERM fait aussi état de ses collaborations avec le CEA sur le développement de nanoparticules couplées à des systèmes miniaturisés et met en avant les perspectives ouvertes pour

la détection plus précoce et la caractérisation de cibles adaptées au traitement de différents cancers ou de maladies neurodégénératives.

Des traitements plus performants Outre l'apparition de ces nouveaux outils de diagnostics, on peut aussi lire dans certains cahiers d'acteurs que les nanotechnologies vont permettre la mise au point de meilleurs traitements (Académie Nationale de Médecine, CLCV) grâce à l'apparition de nouveaux médicaments (CNRS-CEA) et à une meilleure vectorisation des substances médicamenteuses (CFE-CGC, CLCV, Familles Rurales, Indecosa-CGT ; Académie de Médecine, Académie de Pharmacie, Académie des Sciences ; CESE). Certains acteurs explicitent d'ailleurs quelles sont les pistes explorées.

- Certains parlent de travaux sur les nano-capsules (APPA, INSERM, Académie de Médecine, Académie de Pharmacie).
- D'autres font référence à des travaux sur l'utilisation de microaiguilles (Académie de Pharmacie) ou de nanoaiguilles (LEEM).
- L'Académie de Pharmacie mentionne des travaux portant sur l'utilisation de nanoparticules magnétiques guidées dans l'organisme par l'application d'un champ magnétique.
- D'autres acteurs (INRIA, Académie de Pharmacie, Académie de Médecine) expliquent aussi que des efforts sont déployés pour mettre au point des *"médicaments intelligents"* et des *"traitements nano-localisés*[23]*"* où des molécules vecteurs permettraient d'identifier les cellules malades et d'apporter la substance active au bon endroit, limitant ainsi la toxicité du médicament administré (Académie de Pharmacie, Académie de Médecine).

En matière de vectorisation, l'INSERM explique par ailleurs que ses équipes travaillent sur l'utilisation :

- de nano-capsules lipidiques pour la vectorisation des médicaments,
- de nanoparticules ou de nanocapsules pour la vectorisation de radionucléides en radiothérapie qui permettent de générer dans les cellules cancéreuses des particules radioactives secondaires émettant un rayonnement alpha,
- de vecteurs synthétiques organisés à l'échelle du nanomètre pour délivrer des gènes médicaments.

Ce dernier type de réalisation est cité également par le LEEM qui parle de *"nanovecteurs de thérapie génique"*. En matière d'utilisation des nanotechnologies en médecine, cette organisation signale aussi qu'elles permettent de rechercher de nouvelles cibles thérapeutiques ou de nouveaux mécanismes d'action pour soigner cancers et sida.

Médecine réparatrice, nano-implants, progrès de l'électronique médicale et prothèses Certains acteurs mentionnent aussi les perspectives de mise au point de nouveaux matériaux pour la médecine régénérative (CNRS-CEA) ou la médecine réparatrice (Académie de Pharmacie). Le CNISF parle ainsi du développement de *"l'ingénierie tissulaire"*, des matériaux biomimétiques et des implants bioactifs et biocompatibles. L'APPA mentionne aussi l'apparition de nouvelles prothèses orthopédiques.

On trouve également cités au rang des perspectives pour la médecine les développements de technologies d'assistance aux gestes chirurgicaux (CNRS-CEA), mais aussi les progrès de l'électronique médicale (Académie de Médecine). L'Académie de Médecine explique de plus que :

> *Beaucoup d'autres avancées thérapeutiques récentes sont indirectement dues aux retombées techniques des nanosciences. Citons les stimulateurs cardiaques, sensoriels (implants auditifs), neurologiques (intracérébraux ou périphériques), les biosenseurs pilotant un traitement ou guidant la recherche pharmacologique, la réalisation de caméras digestives ou montées sur cathéters, etc. Et puis, la médecine, comme l'ensemble de notre quotidien, commence à bénéficier presque à son*

23. Ces deux expressions sont celles de l'INRIA

insu de la convergence des nanosciences avec les techniques de l'information et des sciences cognitives : pour un amputé du bras, par exemple, la télécommande par la pensée du patient d'une prothèse robotisée est maintenant possible. Cette convergence permet d'espérer parvenir à traiter les déficiences physiques et sensorielles de l'être humain. (Cahier d'acteurs de l'Académie de Médecine)

Ces travaux basés sur la pose de nano-implants pour stimuler certaines parties du cerveau et commander des objets par la pensée sont aussi cités par l'INRIA ou le CNISF qui parle même de "neuroprothèses".

Si beaucoup d'acteurs mettent en avant les perspectives ouvertes par les développements des nanotechnologies en médecine, leurs conséquences sont cependant aussi discutées.

4.3.3.2 Les questionnements suscités par l'utilisation des nanotechnologies en médecine

Nanomédecine ? L'INSERM indique que le passage d'une médecine *"macroscopique"* à une *"véritable nanomédecine appréhendant la maladie aux niveaux nanométriques"* pose des questions éthiques. Cet institut assure toutefois prendre en charge ces questionnements.

Le CENG, lui, interroge la signification du terme de nanomédecine. Il souligne qu'il n'y a de "réellement nano" actuellement, dans le domaine de la nanomédecine, que certaines thérapies déjà utilisées depuis longtemps et que les nouveaux dispositifs d'interventions ou d'imagerie ont des tailles plutôt de l'ordre du micron. Le CENG se questionne alors sur le passage du micro au nano et se demande s'il s'agit réellement d'un *"changement de paradigme dans la pratique médicale"*. Si c'est le cas, cela soulève pour le CENG des questions d'éthique mais aussi de sécurité sanitaire puisque l'emploi des nanomatériaux suscite des questionnements.

Coût de la nanomédecine Le CENG souligne aussi que la décision de favoriser la mise en place d'une nanomédecine a un certain coût et cela relève donc d'un choix politique de privilégier les investissements dans ce domaine. Parlant du choix d'investir dans Clinatec, la clinique des micro et des nanotechnologies à Grenoble, le CENG comptabilise par exemple que 20 millions d'euros ont été alloués à ce projet et rappelle que ce sont *"autant d'aides publiques qui ne sont pas allouées à l'hôpital..."*

L'Académie des Sciences met aussi l'accent sur la question du coût de la nanomédecine. Difficile pour cette société savante d'affirmer que cette médecine sera source d'économies pour l'ensemble des secteurs où elle permettra d'aboutir à des réalisations. Elle explique ainsi :

> *les budgets de santé (actuellement entre 8 et 15% du PIB des pays riches) pourront-ils suivre cette évolution technologique ? La nanomédecine permettra probablement de faire des économies grâce à des diagnostics rapides et efficaces mais la réduction des coûts n'est pas assurée pour l'ensemble des besoins. À titre d'exemple, un traitement de l'arthrite rhumatoïde à l'aide d'anticorps monoclonaux coûte de l'ordre de 13000 euros par an (coût moyen d'un médicament classique : 170 euros par an). (Cahier d'acteurs de l'Académie des Sciences)*

Mais au-delà de ces interrogations sur le coût du développement d'une nanomédecine ou sur le bien-fondé d'allouer des fonds à ces recherches "nano" plutôt qu'aux hopitaux, d'autres acteurs reviennent sur des questions souvent qualifiées "d'éthiques".

Questionnements éthiques soulevés par les perspectives de progrès des diagnostics L'Académie Nationale de Médecine se questionne par exemple sur le problème éthique de savoir s'il est bon ou mauvais d'informer les patients de "*leurs propres caractéristiques biologiques*[24]". Quels effets sur la santé ou la vie d'un individu pourraient avoir la révélation d'un

24. La formule est celle de l'Académie de Médecine

diagnostic de maladies que lui ou sa descendance pourraient développer à très long terme ? Cette académie mentionne aussi les risques de divulgation de ces informations à l'État ou au reste de la société.

L'Académie Nationale de Médecine évoque également les risques d'eugénisme que pourraient entraîner ces développements, tout en soulignant que cette menace n'est pas née avec les nanosciences et les nanotechnologies. Ces interrogations sur l'eugénisme trouvent un écho dans certains cahiers d'acteurs en particulier lorsque certaines organisations questionnent l'utilisation des nanotechnologies dans le cadre de la convergence NBIC entre Nanotechnologies, Biotechnologies, Sciences de l'Information et Sciences Cognitives.

Nanomédecine et NBIC Comme nous l'avons souligné plus haut, l'Académie Nationale de Médecine estime que cette convergence entre les technologies est déjà bien réelle. Cette société savante citait notamment les recherches où un patient télécommande par la pensée une prothèse robotisée, et exprimait ses espoirs que cette convergence entre les technologies permette de traiter "*les déficiences physiques et sensorielles de l'être humain.*"

Cette utilisation de dispositifs issus de la convergence des technologies pour, un jour, effacer les déficiences des individus voire pour améliorer leurs capacités motrices, perceptives ou cognitives conduit certains acteurs (CNISF ; Les Verts ; Les Amis de la Terre ; CENG ; VivAgora ; CFTC, CFDT ; CES Bretagne ; PMO ; Association Française Transhumaniste) à s'interroger.

Les positionnements sur cette question sont divers.

Pour l'Académie de Pharmacie, ces espoirs d'utiliser les nanotechnologies pour aider le corps humain à lutter les sévices du temps, à se réparer, voire à *"compenser partiellement ou totalement ces déficits"* sont, pour reprendre ses propres termes, légitimes.

Pour le CNRS et le CEA si les progrès de la médecine sont souhaitables, les perspectives de l'apparition de post-humains mi-hommes, mi-machine ou la mise en place d'une sélection d'embryons à grande échelle sur analyse ADN semblent à écarter. Dans un encadré de leur cahier d'acteur signé par Louis Laurent, chargé de mission pour le Campus de Saclay et auteur d'un ouvrage intitulé "Les nanotechnologies doivent-elles nous faire peur ?", ils assimilent ces scénarios à de la science fiction et déclarent que "*la science, ça n'est pas çà*" .

Les Verts affirment néanmoins que : *le "mécano atomique" va brouiller les distinctions animal/végétal, animal/humain, vivant/inerte.* Dans sa contribution au débat public, ce parti politique s'interroge ainsi sur la possible modification de *"la condition humaine"*. Pour illustrer ce qu'ils regardent comme des premiers pas dans cette direction, il citent les exemples du programme de recherche militaire FELIN ou encore des programmes de recherches développés à Grenoble où des puces sont implantées dans le cerveau pour traiter les symptômes de maladies neurodégénératives de certains patients ou bien pour communiquer à distance avec une machine. Pour eux, ces recherches participent déjà à un brouillage entre vivant et non vivant.

D'autres acteurs (CES de Bretagne ; CFDT, CFTC ; CNISF ; Les Amis de la Terre ; CENG, VivAgora ; Association Française Transhumaniste) se questionnent aussi sur ces développements de nano-implants et sur les modifications de l'humain qu'ils pourraient engendrer.

Parmi eux, certains ne s'étendent pas (CES de Bretagne ; CFDT, CFTC, CENG) mais indiquent que ces perspectives de transformations du vivant questionnent voire, selon la CFTC, pourraient porter atteinte à l'intégrité de la personne humaine. Le CENG parle aussi de *"menace de tripotage du vivant et de l'humain"* et les Amis de la Terre de *"dérives post-humanistes"*. Cette dernière organisation envisage avec inquiétude le scénario d'une société où une partie des individus serait *"améliorée"* et l'autre non [25].

25. Les Amis de la Terre mettent eux aussi ce terme entre guillemets.

Le CNISF considère également que la convergence des technologies, d'abord mise à profit pour soigner les personnes, pourrait aboutir à terme à l'apparition d'humains "améliorés". Ce conseil d'ingénieurs et de scientifiques n'exclut d'ailleurs pas la possibilité d'une *"spécialisation*[26]*"* des individus et d'un *"asservissement"* de certains d'entre eux.

Pour sa part, VivAgora juge important que les citoyens puissent débattre de ces projets mais aussi des valeurs qui les sous-tendent.

> *le corps des individus, leurs comportements, leurs humeurs se trouvent monitorés, compensés, réparés, pilotés, normalisés, améliorés. Il est important de pouvoir débattre des risques et avantages de ces projets, comme des valeurs qu'ils servent. D'autant qu'aux Etats-Unis, le but assigné aux technologies convergentes est "l'amélioration des performances humaines", privilégiant donc l'individualisme et la compétition. (Cahier d'acteurs de VivAgora)*

PMO estime de son côté que ces projets d'amélioration des performances humaines ne sont pas marginaux mais sont au cœur des développements des nanotechnologies. Ainsi, pour PMO, les applications mises sur le devant de la scène pour vanter les mérites des nanotechnologies (verres autonettoyants, écrans plats, objets communicants...) ne doivent pas occulter le programme sous-tendant les nanotechnologies : celui des technologies convergentes et de l'amélioration des performances humaines.

Leur texte "Minime Introduction aux Nanotechnologies", s'attache ainsi à démontrer que le développement des nanotechnologies n'est pas anodin, mais vise depuis le début à œuvrer au projet de création d'humains "améliorés" et que les nanotechnologies promettent d'être d'un nouvel instrument de domination. PMO y décortique les écrits importants souvent cités comme des textes marquants ayant influé sur les développements des nanotechnologies : le discours de Feynmann "There's plenty of room at the bottom" ou les Engins de Création d'Eric Drexler. Ainsi, s'appuyant sur l'inventaire des promesses des nanotechnologies réalisé par Drexler dans ce livre, PMO explique pourquoi selon eux, les visions démiurgiques de cet auteur qui a contribué à populariser les nanotechnologies, sont problématiques lorsqu'on les met en perspective avec les déclarations eugénistes de certains scientifiques contemporains ou du siècle passé. PMO cite par exemple une déclaration de Ken Warwick, chercheur en cybernétique que PMO désigne comme un "cyber intégriste" :

> *"Ceux qui décideront de rester humains et refuseront de s'améliorer auront un sérieux handicap. Ils constitueront une sous-espèce et formeront les chimpanzés du futur."*
>
> *(Ken Warwick, cybernéticien. Libération, 12/05/02, Cité par PMO dans son texte Minime introduction aux nanotechnologies).*

PMO rappelle aussi que depuis les années 2000 et le lancement de la National Nanotechnology Initiative aux États-Unis, les nanotechnologies sont massivement financées sans que ceci n'ait en rien dénaturé le projet d'amélioration des performances humaines. PMO revient en effet sur la tenue d'un séminaire financé par la NSF en décembre 2001 intitulé "*les Technologies convergentes pour l'Amélioration du Fonctionnement Humain*" en soulignant que les participants de ce séminaire PMO n'étaient pas des marginaux farfelus, mais des membres de la NASA, de la DARPA, du gouvernement, de l'industrie (d'HP, d'IBM, ou de Boeing), ou encore des universitaires.

De plus, pour montrer que ces perspectives d'amélioration de l'humain ne sont pas une vue de l'esprit, PMO revient aussi précisément sur les travaux déjà entamés de manipulation du génome humain et sur les recherches portant sur l'implantation d'électrodes dans le cerveau d'animaux ou d'humains. PMO cite par exemple les recherches de Miguel Nicolelis et John Chapin qui s'efforcent, en implantant des électrodes dans le cerveau de rats ou de primates,

26. Le CNISF emploie lui même cette terminologie qu'il met entre guillemets.

de permettre à ces animaux de commander à distance des machines ou bien de les téléguider. Cette organisation mentionne aussi les réalisations du neurologue John Donoghue :

> *John Donoghue, professeur de neurosciences à l'Université de Brown (E.U), a mis au point avec sa société, Cyberkinetics, le dispositif Brain Computer Interface (BCI), pour Interface Cerveau Ordinateur. BCI capte et interprète l'activité des neurones au niveau de l'intention du sujet, puis en commande l'exécution à un robot.*
>
> *(PMO, Minime introduction aux nanotechnologies)*

Ainsi pour PMO la marche vers l'homme-machine est largement amorcée et s'accélère.

> *Ethiquement répugnant mais scientifiquement réalisable, l'homo-robot est en marche.*
>
> *(PMO, Minime introduction aux nanotechnologies)*

PMO prévoit alors que ceux qui refuseront de participer à ces projets transhumanistes, seront éliminés, parachevant l'œuvre eugéniste. PMO anticipe d'ailleurs que dans nos sociétés, nous ne serons pas égaux face à ces possibilités d' "amélioration" et qu'elles seront réservées aux privilégiés, "*aux maîtres*".

Ce groupe d'opposants refuse alors avec intransigeance ces projets "d'amélioration" de l'humain, en passe de déboucher selon eux, sur l'avènement d'un "*nanomonde totalitaire*".

Sur ce thème de l'amélioration des capacités de l'humain, une autre position, à l'opposé de celle de PMO est également présentée dans ces cahiers d'acteurs. Il s'agit de celle défendue par l'Association Française Transhumaniste, qui se distingue en se déclarant ouvertement favorable à ces recherches et à l'avènement d'une post-humanité.

L'Association Française Transhumaniste prône ainsi une réflexion d'ordre philosophique sur la Nature, l'Humain et l'Humanité. Pour cette association, les questions essentielles que posent les développements des nanotechnologies sont :

- Pourquoi avont-nous besoin des nanotechnologies ?

- Dans quelle mesure les nanotechnologies sont susceptibles de changer la nature de l'humain et quelles questions cela soulève-t-il ?

Les réponses que cette organisation y apporte alors sont en résumé :

- d'abord que l'Humanité a besoin des nanotechnologies car elles participeront à augmenter les chances de perpétuation de l'espèce humaine.

- Ensuite qu'il n'existe pas un être humain immuable et que l'Homme ne constitue pas la fin de l'évolution biologique. Au contraire, la capacité de l'Homme à modifier la Nature et sa nature est, pour les Transhumanistes, constitutif de l'identité humaine.

Ces deux réponses justifient ainsi la position défendue par l'association Française Transhumaniste : *"oui aux nanotechnologies dans tous les domaines et sans tabous"*. Cette organisation estime toutefois qu'étant donné que la pensée sera sans doute liée au corps pour encore bien des années, les nanotechnologies doivent être développées en préservant les écosystèmes et l'équilibre de nos sociétés.

Enfin, l'Association Française Transhumaniste se questionne sur l'encadrement fixé par l'État du droit laissé aux individus de disposer de leur corps. Envisageant la possibilité de modifier les individus, elle écrit :

> *Se pose alors la question de la liberté accordé à ces derniers et du degré de contrôle exercé par l'Etat. Considérons nous que l'Etat doit légiférer et décider du corps des individus ? Quelles seront les conséquences réelles des libertés accordées ou des interdictions imposées ? La loi doit-elle trancher, pour tout un pays, sur la base d'une philosophie, ou d'une tradition religieuse ou non ? Ou bien régulerons-nous en fonction des effets concrets que des individus modifiés auront sur la Société ?*

(Cahier d'acteurs de l'association française transhumaniste)

Ces préoccupations touchant à la manipulation du vivant se voient aussi parfois adjoindre, d'autres réflexions sur les visions futuristes (VivAgora, PMO) conçues par certains promoteurs des nanotechnologies comme Eric Drexler. Ces scénarios mettent en scène des automates et la création de vivant artificiel.

VivAgora choisit de ne pas créer de dichotomie entre une "réalité" des nanotechnologies qu'il faudrait placer au centre des débats et les visions plus ou moins réalistes qu'il faudrait bannir des discussions. Pour elle, ces visions contribuent en effet à modeler les programmes de recherche. Par conséquent, pour VivAgora, elles doivent pouvoir être discutées mais aussi être orientées par les citoyens.

Certains de ces scénarios futuristes comme par exemple celui de la gelée grise, où une assemblée de nano-robots échappe au contrôle des humains, sont toutefois accusés de pêcher par excès de catastrophisme tant par le CNRS-CEA que par l'Association Française Transhumaniste. PMO de son côté, examine les visions de Drexler mettant en scène des nanorobots, les "assembleurs" capables de se répliquer et conclut :

> *"vingt ans plus tard on n'a pas encore vu de réplicateur, et si les "Engins de création" ont lancé les nanotechnologies, celles-ci ont pris un tour différent de ce qu'imaginait Drexler, quoique le même objectif démiurgique sous-tende les recherches à long terme."(PMO, Minime introduction aux nanotechnologies)*

Ainsi finalement pour PMO, si les scénarios futuristes et parfois catastrophistes imaginés par Drexler ne se sont pas réalisés, le projet d'amélioration de l'Humain présent dans son livre a, lui, été repris par les partisans de la convergence NBIC.

Finalement la cartographie de prises de positions des acteurs sur ce thème des utilisations en médecine des nanotechnologies représentée sur la figure 4.2 laisse entrevoir que ce thème est moins discuté que les questions sanitaires et environnementales soulevées par les nanotechnologies. Elle fait aussi ressortir deux pôles de discussion. On rencontre d'une part dans certains cahiers d'acteur des allusions ou des inventaires enthousiastes des possibilités ouvertes par les développements dans le secteur de la santé. La figure 4.2 met en évidence que les outils de diagnostics et l'amélioration de la vectorisation des médicaments sont souvent cités.

D'autre part, plusieurs acteurs (et souvent des acteurs différents de ceux qui citent les perspectives d'avancées dont bénéficierait la médecine) s'interrogent sur les perspectives de modifications de l'humain. Sur la figure 4.2 autour de ces objets de discussion, on trouve les noms de PMO, de Vivagora, de l'Association Française Transhumaniste...

Enfin, dans la zone frontalière entre ces deux pôles, on trouve quelques acteurs, comme l'Académie de Médecine, le CNISF ou encore le CNRS et le CEA, qui affirme que l'apparition de post-humains relève de la science fiction.

Enfin, les questions posées par ces nouvelles perspectives ouvertes pour la médecine et les manipulations du vivant sont ici essentiellement d'ordre éthique et plus largement philosophique :

- Quelle est la frontière entre le soin et la transformation structurelle de l'être humain ? (pour reprendre la formulation des Amis de la Terre)
- Quelles sont les valeurs sous-jacentes au projet de convergence des technologies et d'amélioration des performances humaines ?
- Qu'est ce que l'Homme ? Qu'est-ce que le vivant ?
- Quelles pourraient être les conséquences pour les individus de connaître leurs "caractéristiques biologiques" ?

Certaines sont aussi d'ordre politique comme les interrogations suivantes :

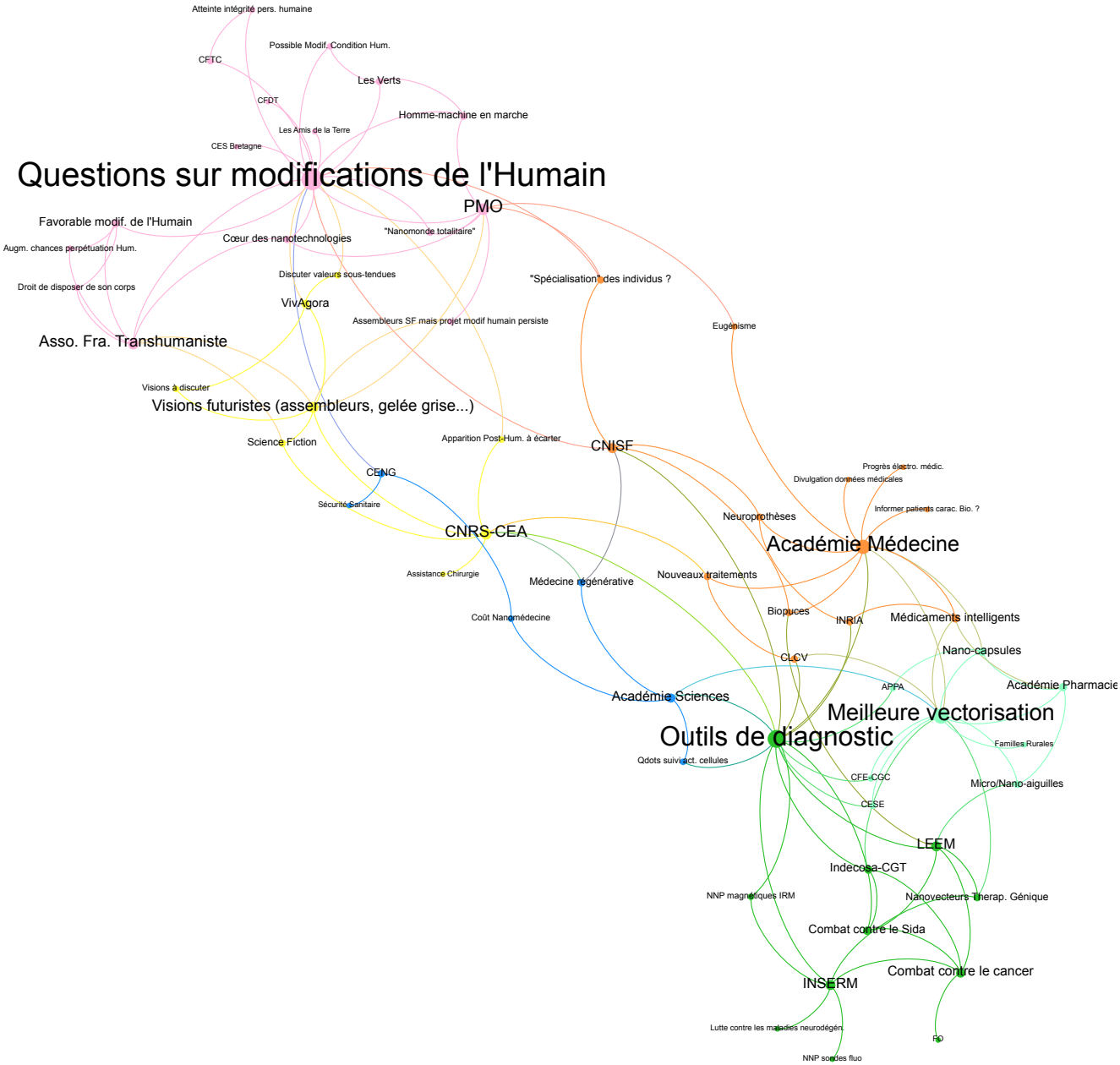


FIGURE 4.2 – Objets de préoccupation des différents acteurs relatifs aux perspectives ouvertes par les nanotechnologies en médecine

– Quel(s) projet(s) de société souhaite-t-on favoriser en investissant dans les programmes de développement des nanotechnologies ?
– Quel est le coût de développement d'une nanomédecine et juge-t-on ces développements prioritaires ?
– Quelle liberté une société laisse-t-elle aux individus de disposer de leur corps, qui doit en décider et comment ?

La question de la tolérance de la société à l'égard de certains usages des nanosciences et des nanotechnologies n'est toutefois pas l'apanage des questions de manipulations du vivant. Elle ressurgit aussi, attisée par l'explosion annoncée de dispositifs communicants rendus toujours plus compacts et plus performants grâce à la nanoélectronique. Selon certains acteurs, certaines utilisations de ces dispositifs font en effet planer des menaces sur les libertés individuelles.

4.3.4 La protection des libertés à l'heure de l'essor des dispositifs communicants miniaturisés

La liberté de recourir à certains usages des nanotechnologies est aussi pointée par certains acteurs (CNIL ; PMO ; Les Amis de la Terre ; le CESE, le CES Bretagne ; CFDT, CFTC, CLCV, Familles Rurales, Indecosa-CGT ; Sciences et Démocratie, le CENG, le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie, VivAgora ; Les Verts ; CNISF) comme potentiellement préjudiciable à la garantie des libertés individuelles et à la protection des données personnelles. L'Académie des Sciences se fait aussi l'écho de ces questionnements mais en soulignant qu' *"ici, le danger ne réside pas dans la technique mais dans son usage."* Cette académie continue en expliquant :

> *La fabrication de circuits électroniques très miniaturisés, éventuellement implantables chez l'homme est perçue comme un danger pour les libertés individuelles. Les progrès dans ce domaine son heureusement pilotés par la médecine réparatrice (retrouver la vue,...). (Cahier d'acteur de l'Académie des Sciences)*

La CNIL souligne qu'à l'heure actuelle des dispositifs d'identification à distance existent déjà comme les RFID (Radio Frequency Idenfication Devices). De plus, comme l'indique l'Académie des Sciences, l'essor de la nanoélectronique permet de réduire la taille de ces dispositifs communicants et d'accroître les puissances de calcul pour traiter les données. L'INRIA explique aussi que les nanotechnologies bénéficient des progrès dans le domaine des sciences numériques et souligne aussi qu'en retour les sciences numériques voient leurs capacités d'observation, de communication et de traitement de l'information décuplées par les développements des nanotechnologies.

La CNIL, dans son cahier d'acteurs, met donc l'accent sur les caractéristiques de ces nouveaux outils communicants. Elle mentionne leur invisibilité et leur ubiquité, résultant de leur dissémination massive et de leur capacité à communiquer à distance avec d'autres objets. Ainsi, selon la CNIL, cette prolifération est en train de permettre une multiplication des recueils de données personnelles éventuellement à l'insu des personnes.

Par conséquent, la CNIL et de nombreux acteurs (Les Amis de la Terre ; le CESE, le CES Bretagne ; CFDT, CFTC, CLCV, Familles Rurales, Indecosa-CGT ; Sciences et Démocratie, le CENG, le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie, VivAgora ; Les Verts) s'interrogent sur le développement et la multiplication de mouchards communicants toujours plus économes en énergie, qui seraient capables d'observer, de scruter et de rapporter chacun de nos gestes à notre insu.

La CNIL se demande : "Peut-on être libres dans une société d'hyper traçabilité ?". Elle n'exclut pas le scénario d'un potentiel formatage des comportements sur une norme sociale de la part d'individus qui se sauraient perpétuellement sur écoute.

Cette organisation soulève aussi la question de la maîtrise et de la sécurité de ces systèmes :

- Comment les individus pourront-ils avoir accès aux données les concernant et en contrôler l'usage ?

- Comment pourra-t-on recenser et réguler ces applications des nanotechnologies ?

- Comment s'assurera-t-on du respect du droit à l'oubli et du silence de ces nano-puces ?

- Comment s'assurera-t-on de la sécurité de ces systèmes et comment se prémunira-t-on contre les piratages ?

La question de la sécurité et de la fiabilité du traitement de ces informations est aussi l'un des défis posés aux sciences numériques par l'émergence des nanotechnologies que répertorie l'INRIA.

Pour y répondre, la CNIL estime qu'il faut y réfléchir en amont, dès l'étape de conception des systèmes. Cette organisation s'interroge aussi sur les usages de ces dispositifs communicants et sur la manière dont il faudrait les encadrer. La CNIL évoque la possibilité d'une éventuelle interdiction pure et simple de certains usages, comme l'implantation de RFID sous-cutanées pour payer des consommations en boîte de nuit, afin d'éviter une banalisation de leur utilisation.

L'INRIA estime aussi que la multiplication des recueils de données nécessite de la part de nos sociétés une *"vigilance éthique dans l'utilisation de ces données (biologiques, médicales, sociétales)."* Cet institut de recherche considère cependant que si la vigilance scientifique sur le recueil, la transmission, le contrôle de la qualité et le traitement de ces données est du ressort des chercheurs, il revient aux citoyens de se préoccuper de cette vigilance éthique.

Enfin, pour répondre aux questionnements que les développements des nanotechnologies posent en matière de protection des libertés, plusieurs acteurs demandent d'une part l'ouverture d'un débat spécifique (Collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie, Sciences et Démocratie, CNIL) permettant une approche interdisciplinaire de ces questions (CNIL) et d'autre part que les pouvoirs et les moyens de la CNIL soient renforcés (CESE, CGT-Indecosa, CNIL, Collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie, Les Verts).

Les questions posées par la possible mise en péril des libertés individuelles sont donc porteuses d'enjeux sociaux :

- Comment les comportements des individus pourraient-ils être modifiés s'ils se savaient perpétuellement observés ?
- Faut-il favoriser la construction d'outils qui pourraient aussi par exemple doter les États de la capacité d'espionner les moindres faits et gestes des individus ?

Ces questionnements sur les utilisations possibles d'objets intelligents miniaturisés sont pour certains acteurs une source de remise en cause du développement des nanosciences et des nanotechnologies. La ribambelle de petits nœuds rouges représentant chacun un acteur relié uniquement à l'objet de discussion "dangers pour libertés individuelles" sur figure 4.3 met cependant en évidence que plusieurs acteurs ne font que mentionner ce type de questionnement sans pour autant le détailler. Quelques autres, en revanche, développent ces interrogations. Au premier rang d'entre eux, il y a la CNIL dont le nœud se détache nettement sur la figure4.3. Les questions posées par ces acteurs portent alors sur l'encadrement et la réglementation possibles de ces usages.

Ainsi, les questionnements soulevés par l'explosion du recours à des dispositifs communicants toujours plus petits sont aussi politiques :

- Quels sont les acteurs pouvant prendre en charge l'encadrement de cette explosion de dispositifs communicants miniaturisés ?
- Faut-il accroître les pouvoirs et les moyens de la CNIL et est-ce suffisant ?
- Faut-il légiférer et décréter que certains usages sont inacceptables ?
- Quels sont les mesures à prendre pour protéger les individus c'est à dire notamment :
  - pour assurer un droit à l'oubli ?

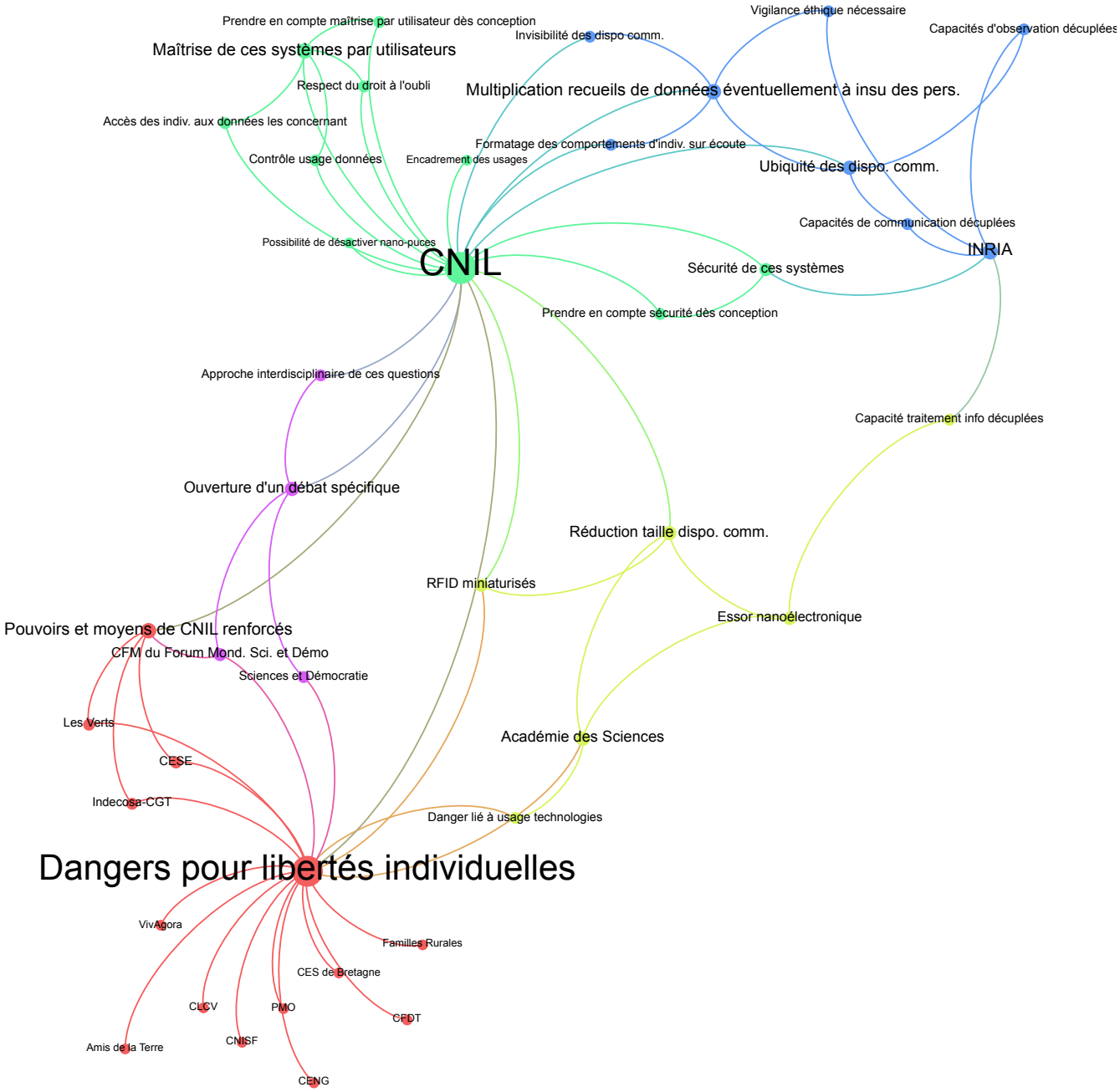


FIGURE 4.3 – Objets de préoccupation des différents acteurs relatifs à la protection des libertés

– pour informer les personnes ?
– pour protéger les données à caractère personnel ?

Enfin, les interrogations sont aussi scientifiques et techniques comme par exemple :

– Comment intégrer la notion de sécurité des informations dès la conception des systèmes ?
– Comment faire pour que les individus puissent choisir d'empêcher leurs appareils de communiquer des informations les concernant ?

Le développement des nanosciences et des nanotechnologies suscite donc de multiples interrogations. Elles relèvent d'un questionnement profond sur la place et la régulation des technosciences en société. Selon nous, le débat comporte donc aussi inéluctablement une dimension politique qui n'a pas seulement trait à l'encadrement réglementaire de ces développements.

4.3.5 Les rapports entre développements technoscientifiques et démocratie

Plusieurs interrogations d'ordre politique ont fait surface lors du passage en revue des objets de préoccupation englobées par les trois dimensions précédentes. Toutes ces interrogations n'épuisent cependant pas à elles seules les enjeux politiques des développements des nanosciences et des nanotechnologies. Plusieurs acteurs se questionnent ainsi sur les conditions et les modalités de prise en charge démocratique de ces développements technoscientifiques.

4.3.5.1 L'importance de "Faire des nanotechnologies une affaire publique"[27]

Comme le montre la figure 4.4, ces interrogations sur la manière dont les nanotechnologies sont développées en démocratie sont essentiellement portées par les associations et collectifs que nous avons qualifiés de citoyens (CENG, VivAgora, Fondation Sciences Citoyennes, collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie, Sciences et Démocratie) mais aussi par PMO, par des associations de protection de l'environnement comme la SEPANSO et l'APPA[28], par les Verts, par des assemblées régionales comme le CES de Bretagne, le CES de Rhône Alpes et le CR d'Île de France et enfin, dans une moindre mesure par la CLCV lorsqu'elle s'intéresse à ce qu'elle appelle la construction d'une "gouvernance de l'innovation".

Ces acteurs qui interrogent les rapports entre nanosciences, nanotechnologies et démocratie déplorent souvent l'insuffisance, voire l'absence, de mise en débat des orientations scientifiques et technologiques en France, sur les nanosciences et les nanotechnologies, alors même que ces développements pourraient avoir d'importantes conséquences sur nos sociétés présentes et futures (CENG, VivAgora, Fondation Sciences Citoyennes, collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie, Sciences et Démocratie, PMO, SEPANSO, APPA, Les Verts, CES de Bretagne) .

La Fondation Sciences Citoyennes déclare ainsi :

> *Devrait-on laisser une application technologique, portée par des intérêts privés qui cherchent à la faire passer pour la seule source de progrès, s'imposer au point de changer fondamentalement la vie de la société ?*
>
> *N'est-ce pas à la société de faire des choix réfléchis sur son évolution dans des contextes environnementaux et sociaux en profond bouleversement, donc de décider si elle veut voir se développer telle technologie, et si oui, à quel point, dans quelle finalité et dans quel cadre éthiquement délimité ? (Cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes)*

Par ailleurs, pour VivAgora, citant les propos de sa présidente, un enjeu majeur des développements des nanotechnologies est de construire une "politique de l'incertitude" :

27. (Expression de VivAgora et du CENG)
28. Les Amis de la Terre et FNE abordent aussi de façon un peu marginale dans ces cahiers la manière dont les débats doivent aborder les questions soulevées par les nanotechnologies

Les nanotechnologies sont souvent présentées comme une révolution. Or les nanoparticules sont difficilement caractérisables et échappent aux normes de traçabilité. Les nanotechnologies augmentent le champ de l'incertitude et plus fondamentalement invitent à une attitude de non maîtrise. La volonté d'affronter l'incertitude est encore plus affirmée dans le phénomène de convergence avec d'autres technologies. Les synergies entre biotechnologies, chimie, technologies de l'information, de la cognition, voire neurosciences, démultiplient les possibles, libèrent les potentialités. Nous avons donc à affronter une politique de l'incertitude, à apprendre et à décider en méconnaissance de cause. (Cahier d'acteurs de VivAgora)

VivAgora, tout comme la Fondation Sciences Citoyennes, l'association Sciences et Démocratie, les Verts ou encore le CES de Bretagne soulignent alors l'importance d'associer les citoyens aux prises de décisions.

Dans le cadre des nanotechnologies, comme dans d'autres situations complexes de prises de décision sur les questions scientifiques et technologiques, le CES de Rhône Alpes pointe en effet le risque d'éviction des citoyens lors des choix scientifiques et technologiques. Cette situation doit cependant pour le CES de Rhône Alpes être dépassée pour permettre une réelle appropriation des choix scientifiques et technologiques par les citoyens.

4.3.5.2 Critiques de la manière dont sont pris les choix d'orientations scientifiques et technologiques

Des critiques sont en effet formulées sur la manière dont ont été prises les décisions concernant le développement des nanosciences et des nanotechnologies. Nous avons repéré au moins trois axes autour desquels s'articulent ces critiques.

La Fondation Sciences Citoyennes et le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie dénoncent d'abord l'unilatéralisme du développement des nanosciences et des nanotechnologies sans que les décideurs n'aient selon eux, pris la peine d'explorer des solutions alternatives qui permettraient de répondre aux mêmes problèmes.

Ensuite, la Fondation Sciences Citoyennes, les Verts, PMO et le CENG évoquent le poids d'un petit nombre d'acteurs dans les prises de décisions. PMO parle même d'une collusion entre le scientifique et le politique et qualifie de "technocaste", ceux qui maîtrisent les développements de ces technologies. Pour la Fondation Sciences Citoyennes, ces choix favorisent des intérêts particuliers et sont pris au nom d'une idéologie technocratique, au mépris de l'intérêt général.

Enfin, certains acteurs dénoncent une certaine opacité entourant les développements des nanotechnologies. PMO et le CENG protestent ainsi contre l'opacité qui selon eux enveloppe les décisions prises pour développer certains projets "nano" en particulier à Grenoble. Le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie insiste pour sa part sur le flou entourant les développements à finalité militaire des nanos qui échapperaient à tout contrôle. Cet acteur en appelle alors à l'État, par l'intermédiaire des élus nationaux pour qu'une commission parlementaire face le point sur cet aspect et sur la réalité de ces développements scientifiques et technologiques.

Une part des critiques portant sur la manière dont sont développées les nanotechnologies en démocratie pointent donc du doigt la manière dont sont retenus les choix scientifiques et technologiques. D'autres critiques concernent les procédures de débats.

4.3.5.3 Critiques des procédures de débat

Le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie, le CENG et VivAgora rappellent que plusieurs débats sur les nanosciences et les nanotechnologies ont déjà eu lieu en France avant l'initiative orchestrée par la CNDP. Le collectif français membre du

Forum Mondial Sciences et Démocratie parle même d'une *"prolifération de débats"*. Cependant, si ces trois associations reconnaissent que des procédures de débat ont déjà été engagées, elles se montrent très réservées sur les incidences que ces discussions ont pu avoir sur les décisions et sur les pratiques.

Ainsi, VivAgora estime que ces débats *"permettent rarement d'enclencher des pratiques nouvelles"*. Le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie en parlant de ses débats nanos se demande dans une question oratoire *"quel fut leur impact sur les décisions publiques ?"* et ajoute *"De facto la France est engagée, comme d'autres, sur le chemin des nanotechnologies"*.

Quant au CENG, il estime que les *"formes existantes de participation des publics semblent d'abord caractérisées par leur volontarisme mais aussi par leur précarité. Elles restent marginales et sont sans conséquences sur les décisions publiques."*

Pour leur part, la Fondation Sciences Citoyennes, la SEPANSO et l'association Sciences et Démocratie s'intéressent plus particulièrement au cycle de débats organisé par la Commission Nationale du Débat Public et se montrent très critiques à son égard.

Pour la Fondation Sciences Citoyennes et l'association Sciences et Démocratie, ce n'est pas la nécessité d'alimenter un débat sur les développements des nanosciences et des nanotechnologies qui est remise en cause. Ce sont les choix retenus par la CNDP pour organiser ses débats qui sont critiqués.

La première de ces critiques est la suivante : les débats de la CNDP sont intervenus trop tard (Fondation Sciences Citoyennes, Sciences et Démocratie, SEPANSO, PMO). La Fondation Sciences Citoyennes, la SEPANSO mais aussi PMO soulignent en effet que ces débats se déroulaient alors que la France avait déjà lancé toute une série d'investissements pour développer les nanosciences et les nanotechnologies. Quant à l'association Sciences et Démocratie, elle rappelle pour sa part que ce débat était organisé alors que de nombreux "nanoproduits" étaient déjà commercialisés.

Sciences et Démocratie et la Fondation Sciences Citoyennes estiment aussi que le cadre défini par la lettre de saisine des commanditaires du débat public n'était pas satisfaisant. Pour la Fondation Sciences Citoyennes comme pour la SEPANSO, il n'était en effet inscrit nulle part dans ce document, que les auteurs de la saisine adressée à la CNDP seraient astreints à tenir compte des résultats ou des recommandations qui émergeraient de ce cycle de rencontres. Cette lettre était donc pour la Fondation Sciences Citoyennes, le signe que les débats ne déboucheraient pas sur un revirement en matière d'orientations scientifiques et technologiques. Cette organisation considère donc, puisque ces débats n'étaient pas en mesure d'infléchir des choix politiques déjà pris, qu'ils se résumaient à une *"opération de communication"* . Cette manœuvre de communication qui plus est, n'était pas neutre. Ne permettant pas de remettre en question les orientations scientifiques et technologiques déjà adoptées, elle était, selon la Fondation Sciences Citoyennes, *"orientée vers la promotion du développement des nanotechnologies"* et visait à faire adhérer la population au développement des nanotechnologies.

Sous les habits d'un débat servant la démocratie, il s'agissait donc en fait selon la Fondation Sciences Citoyennes, d'une entreprise de manipulation des citoyens. Cette analyse est partagée par PMO et la SEPANSO. C'est d'ailleurs pour ces raisons que PMO a refusé de participer au cycle de débats organisé par la CNDP.

La Fondation Sciences Citoyennes souligne par ailleurs deux autres faiblesses des rencontres de la CNDP. Elle incrimine d'abord le choix des thèmes des débats. Ces thèmes étaient fonction de la spécialisation des villes d'accueil dans certains secteurs des nanotechnologies. La CNDP pouvait ainsi facilement convier à ces débats des "experts" travaillant aux développements de ces domaines. Cependant, pour la Fondation Sciences Citoyennes, il aurait été important que d'autres experts qui ne soient pas des scientifiques, soient présents pour

apporter leur éclairage et que les débats sur les nanotechnologies permettent une approche globale des questions posées par ces développements.

Enfin, la Fondation Sciences Citoyennes estime que le format des consultations proposées par la CNDP ne permettait pas d'obtenir une image de l'avis de la population sur les développements des nanotechnologies. Pour cette organisation, ces débats se contentaient de prendre acte d'opinions plus ou moins bien informées. Cette remarque est aussi mise en avant par Sciences et Démocratie. Cette association affirme que le public était convoqué pour assister à une opération *"d'information descendante"* émanant d'experts et des institutions. Science et Démocratie considère donc que le public convoqué lors des débats de la CNDP pour s'informer n'avait pas les moyens de discuter les développements et la régulation des nanotechnologies.

Ces positions très critiques sur le débat organisé par la CNDP contrastent avec les déclarations de certains syndicats, comme l'UNSA ou la CFDT qui se félicitent pour leur part de la tenue de ce cycle de débats publics. La CFDT a ainsi accueilli favorablement les rencontres organisés par la CNDP tout en se déclarant également en faveur de l'invention de nouvelles formes et de nouveaux lieux de dialogues entre citoyens non-spécialistes et spécialistes des nanotechnologies.

De son côté, l'UNSA souligne aussi dans son cahier d'acteurs l'importance de favoriser la tenue de débats sur des questions scientifiques controversées. Ce syndicat considère que les nanotechnologies sont porteuses d'enjeux importants et qu'il est essentiel de dépasser une opposition simpliste entre pour et contre ces développements. L'UNSA assignait alors au moins deux objectifs à ces débats publics orchestrés par la CNDP : définir quels sont les enjeux des développements des nanotechnologies et départager *"les craintes justifiées des fantasmes"*, pour reprendre ses propres termes, afin de préciser les régulations à mettre en place.

4.3.5.4 Des pistes pour mettre en débat les orientations scientifiques et technologiques

Beaucoup de ces acteurs interrogeant la gestion démocratique des développements des nanosciences et des nanotechnologies (CENG, Fondation Sciences Citoyennes, Sciences et Démocratie, VivAgora ; Les Verts), même s'ils critiquent parfois vivement les procédures mises en place pour consulter les citoyens, sont toutefois souvent demandeurs d'une négociation démocratique des choix scientifiques et technologiques. Aussi, il faut, selon ces acteurs, inventer des espaces de discussion et développer une culture de débat pour permettre aux citoyens d'influer effectivement, et de manière informée, sur les mesures à prendre pour répondre aux questions posées par les nanosciences et les nanotechnologies (CENG, Fondation Sciences Citoyennes, Sciences et Démocratie, VivAgora ; Les Verts).

VivAgora, le CENG, la Fondation Sciences Citoyennes, Sciences et Démocratie et le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie, mais aussi le CES de Bretagne, les Amis de la Terre, FNE et les Verts fournissent d'ailleurs dans leur cahier d'acteurs un certain nombre d'indications sur la manière de rendre plus démocratiques les choix d'orientations scientifiques et techniques sur des questions controversées. Ils explicitent notamment les pistes suivantes :

- abandonner le modèle de prises de décision ne s'appuyant que sur des expertises scientifiques et techniques, mais s'appuyer sur des expertises pluralistes (Fondation Sciences Citoyennes) ;

- créer un tiers-pôle d'expertise (collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie et Fondation Sciences Citoyennes) ;

- mettre en place des procédures de consultation citoyenne en s'assurant qu'elles auront une réelle incidence sur les prises de décision (Sciences et Démocratie) ;

- favoriser un engagement de longue haleine (CES de Bretagne, VivAgora, Les Verts), mais aussi accompagner l'innovation c'est à dire travailler avec les industriels pour favoriser des démarches responsables (VivAgora) ;

- ne pas se limiter à problématiser les débats en terme de calcul bénéfices/risques mais aborder les problèmes dans leur globalité en questionnant leur utilité sociale, leur coût au regard de leur efficacité, en abordant d'autres aspects par exemple éthiques... (Les Amis de la Terre, FNE ; Les Verts ; Fondation Sciences Citoyennes, VivAgora) ;

- associer les citoyens et les organisations "citoyennes" à l'organisation des procédures de débat (Sciences et Démocratie) ;

- mettre à contribution les instances démocratiques régionales, comme les conseils économiques et sociaux régionaux (CES de Bretagne).

- permettre une formation préalable des citoyens dans les débats pour leur permettre de formuler un avis documenté (Sciences et Démocratie, VivAgora) ; La Fondation Sciences Citoyennes suggère à ce propos d'instaurer la tenue régulière de Conventions de Citoyens et le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie de Conférences de Citoyens. Dans ces deux types de procédures un petit nombre de citoyens sont sélectionnés. Ils suivent une formation et sont confrontés à une expertise pluraliste avant de proposer des avis informés sur des questions scientifiques et technologiques ;

- informer les citoyens (CENG, Sciences et Démocratie, VivAgora), voire de mettre en place des programmes d'éducation (collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie)

- et enfin, protéger les lanceurs d'alertes (CES de Bretagne, collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie et Fondation Sciences Citoyennes).

En matière de "gouvernance", le CES de Rhône Alpes propose aussi d'instaurer *"une haute autorité nationale chargée des nanotechnologies"*. Soulignant le poids en France de la région Rhône Alpes dans ces développements, il suggère d'expérimenter à l'échelle de ce territoire la mise en place de ce genre d'autorité de veille surveillant les orientations stratégiques et les questions d'évaluation.

Si plusieurs acteurs considèrent que les citoyens sont mis à l'écart des prises de décisions scientifiques et techniques qui engagent pourtant nos sociétés et s'ils dénoncent le confinement du pouvoir dans les mains peu nombreuses des membres d'un cénacle fermé, certains remettent aussi en cause les fondements du modèle économique et social sur lequel est bâti le développement des nanosciences et des nanotechnologies.

Enjeux économiques et sociaux, mais aussi géostratégiques ont ainsi un poids important dans les discussions, aussi bien pour les acteurs qui arguent de l'inévitabilité du développement des nanosciences et des nanotechnologies que pour ceux qui le critiquent, demandent qu'on l'amende, voire le remettent en cause.

4.3.6 Les interactions entre enjeux économiques, sociaux et géostratégiques, et développements scientifiques et technologiques

Le thème des interactions entre enjeux économiques, sociaux et développements des nanosciences et des nanotechnologies est abordé par un grand nombre d'acteurs.

4.3.6.1 Les nanotechnologies pour apporter des réponses à certains problèmes de nos sociétés

D'abord plusieurs acteurs évoquent les bénéfices que pourraient apporter les nanotechnologies et esquissent comment elles pourraient contribuer à remédier aux problèmes de nos sociétés.

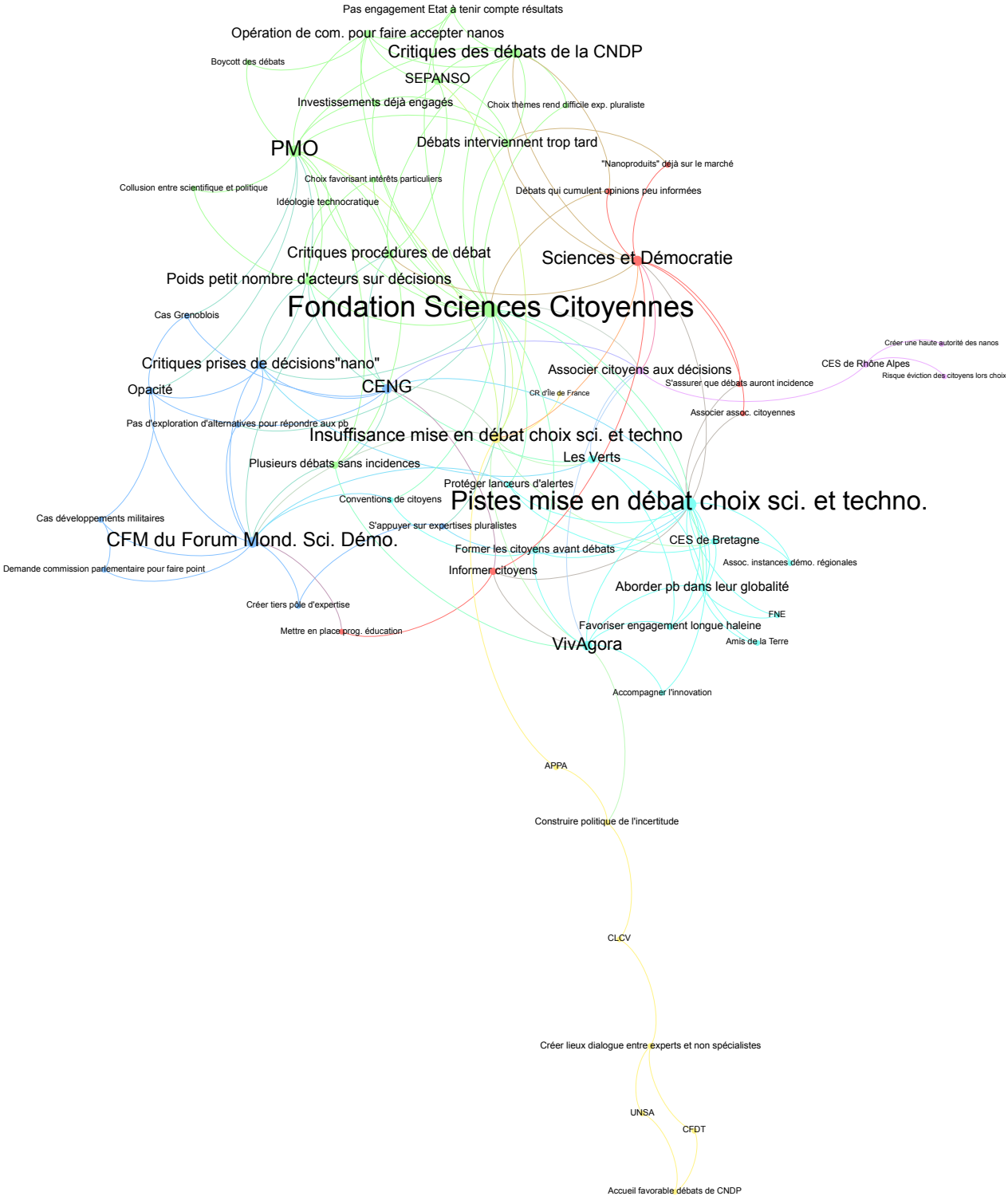


FIGURE 4.4 – Objets de préoccupation des différents acteurs relatifs à la manière dont les nanotechnologies sont développées en démocratie

Ainsi selon certains acteurs, les nanotechnologies pourraient permettre :

- de préserver l'environnement (Sitelesc, EpE, MEDEF, UIC ; CFDT, CFTC, CLCV, FO, Afoc, Familles Rurales, Indecosa-CGT ; CESE, CES Rhône-Alpes ; APPA ; CNISF ; INRIA) [29]. L'APPA cite par exemple la mise au point de nouveaux pots catalytiques ou de nouvelles solutions pour l'épuration de l'eau. L'UIC parle de réduction de "l'empreinte environnementale" des activités...
- d'apporter des éléments de réponse aux questions qui se posent dans le domaine de l'énergie (Sitelesc, UIC ; CFTC, CFE-CGC, FO, Indecosa-CGT ; CNRS-CEA ; CNISF ; CESE, CES Rhône-Alpes ; Académie des Sciences) et en particulier de participer à la lutte contre le changement climatique (ANIA, UIC, CNRS-CEA). Le CNISF explique par exemple :

  > *Les nanotechnologies participent déjà à la production des énergies renouvelables (solaire photovoltaïque ou thermique, éolienne) ou non, à leur stockage (par processus électrochimiques : batteries lithium-ions et super capacités, ou par adsorption dans des matériaux nanoporeux qui peuvent stocker de manière réversible l'hydrogène ou le méthane), à la génération d'énergie stationnaire ou mobile (piles à combustibles pour véhicules automobiles, téléphones cellulaires et ordinateurs portables,..), et contribue également aux économies d'énergie (isolation thermique, amélioration du rendement des systèmes d'éclairage, diminution de la consommation énergétique des appareils domestiques et professionnels, ...) (Cahier d'acteurs du CNISF)*

- de contribuer à parer à l'augmentation des coûts de matières premières (ANIA, UIC) et de permettre des applications dans le domaine des matériaux (FIDEA ; CFTC, CFE-CGC, CLCV, Familles Rurales, Indecosa-CGT ; CNRS-CEA ; CESE, CES Rhône-Alpes ; Académie des Sciences ; Association Française Transhumaniste) ;
- de permettre des progrès dans le domaine médical (Sitelesc, MEDEF, LEEM ; Familles rurales, Indecosa-CGT ; CFDT, CFE-CGC, FO ; INSERM, CNRS-CEA, INRIA ; CNISF ; APPA ; CESE, CES Rhône-Alpes ; Académie des Sciences, Académie de Pharmacie, Académie Nationale de Médecine ; Association Française Transhumaniste) ;
- d'ouvrir des perspectives pour les technologies de l'information (CFTC, CFE-CGC, FO, Indecosa-CGT ; CNRS-CEA, INRIA ; CNISF, APPA ; CESE ; Académie des Sciences) ;
- d'améliorer la sécurité (CNISF, CNRS-CEA). La CNISF et le CNRS-CEA citent notamment la mise au point de capteurs permettant de détecter la présence d'agents chimiques ou biologiques, la CNISF mentionne aussi la traçabilité des produits ou la sécurité dans divers lieux ; le CNRS et le CEA parlent eux de surveiller les transactions financières...
- d'améliorer la vie quotidienne des individus (MEDEF, UIC, CNISF). Le CNISF cite entre autres l'amélioration de la qualité de l'alimentation, du confort des habitations, du cadre de vie, des textiles et de l'habillement, de la cosmétique, de l'amélioration de la mobilité collective (transport,...), des équipements de loisirs...
- de répondre *"au défi de l'augmentation de la population mondiale* [30]*"* (ANIA)

Nous avons d'ailleurs noté que plusieurs acteurs (INC, CESE, Académie des Sciences) associent (plus ou moins étroitement) d'une part progrès scientifiques et/ou technologiques et

29. Pour ce qui concerne la préservation de l'environnement, les bienfaits des nanotechnologies sont toutefois remis en cause par les Amis de la Terre :

> *"Quant à l'idée répandue que la production à l'échelle nanométrique serait écologique et propre, elle est mise à mal par une étude de l'université de l'Ohio (octobre 2008) qui montre que l'impact environnemental du cycle de vie des nanofibres de carbone pourrait être 100 fois plus important que celui des matériaux traditionnels. Dans cette étude, c'est tout le cycle de vie qui est pris en compte, depuis la création du matériau au traitement des déchets." (Cahier d'acteurs des Amis de la Terre)*

30. Pour reprendre les termes de l'ANIA.

d'autre part progrès humain. Selon ces acteurs, il est alors indispensable de soutenir les développements des nanotechnologies. Le CESE s'exprime par exemple ainsi :

> *En vérité ce qui est posé, c'est la question de la capacité de la société à maîtriser de manière consciente le progrès technologique : sans vouloir en arrêter le cours car ce serait à la fois illusoire et néfaste, sans vouloir se priver de la dynamique de progrès humain dont il est porteur, mais en créant les meilleures conditions de sécurité et de respect des règles éthiques dans son développement. (CESE)*

Si certains acteurs associent développement des nanosciences et des nanotechnologies et amélioration des conditions de vie, nous avons aussi noté que plusieurs acteurs lient également développement des nanotechnologies et perspectives économiques.

4.3.6.2 Les nanotechnologies, une opportunité de gagner en compétitivité et de créer des emplois

L'argument économique est mis en avant à plusieurs reprises par de nombreux acteurs qui voient dans les nanosciences et les nanotechnologies un levier pour favoriser l'essor économique de la France (CNRS/CEA ; INC ; CESE ; ANIA, LEEM, MEDEF, UIC ; CFDT, CFTC, CFE-CGC, FO, Afoc, Indecosa-CGT, UNSA).

Par exemple, le CNRS et le CEA affirment :

> *Dans le contexte de crise économique, les nanotechnologies sont pour les entreprises françaises et européennes une opportunité de conserver, voire de retrouver leur compétitivité et créer leurs emplois. (CNRS/CEA)*

Le conseil économique et social de Rhône Alpes met pour sa part en avant le rôle que jouent déjà les nanotechnologies dans l'économie de sa région.

"Compétitivité" (CNRS-CEA ; CES de Franche-Comté ; ANIA, MEDEF), "indépendance technologique de la France" (CFDT, CFE-CGC), "attractivité" du territoire français (LEEM) ou de diverses régions... Plusieurs acteurs insistent ainsi sur les enjeux économiques des développements des nanotechnologies. Dans un contexte de concurrence mondialisée des groupements industriels (UIC, ANIA, LEEM), des syndicats de salariés (CFTC, UNSA) ou encore certains conseils économiques et sociaux (CESE, CES de Rhône-Alpes et de Franche-Comté) mettent aussi en avant les chiffres des prévisions d'emplois que pourraient créer les nanosciences et les nanotechnologies et pointent du doigt les milliards d'euros du marché estimé des nanotechnologies.

> *Il faut rappeler que les enjeux sont immenses : le marché mondial des nanotechnologies, estimé à 500 milliards de dollars en 2008, devrait doubler d'ici 2010-2015. (Cahier d'acteurs du CESE)*

> *Comme sur tous les secteurs porteurs d'innovation, la concurrence est acharnée, avec trois pôles (les Etats-Unis, l'Europe et l'Asie) se disputant un marché qui pourrait atteindre 170 milliards de dollars en 2015. (Cahier d'acteurs du LEEM)*

> *Les estimations envisagent un marché mondial des nanotechnologies d'une valeur de 1000 milliards de dollars d'ici 2015. En termes d'emploi, le développement des nanotechnologies pourrait nécessiter le recrutement de 2 à 10 millions de travailleurs dans le monde d'ici à 2014 ; Une partie importante de ces emplois serait située en Europe, principalement dans les "start-up" et les PME. (Cahier d'acteurs de la CFTC)*

L'UNSA clame même que c'est là l'enjeu économique du siècle.

Face à ces enjeux, l'Académie de Pharmacie estime que le public doit être mis au fait de cette situation de compétition.

> *"Le public a également besoin de connaître le rôle de la France dans ce domaine et l'évolution des recherches dans d'autres pays où des moyens considérables sont déployés pour la recherche et le développement de la nanomédecine." (Cahier d'acteurs de l'Académie de Pharmacie)*

Dans ce contexte de concurrence exacerbée pour être à la pointe de la recherche, le CNRS et le CEA soulignent à plusieurs reprises dans leur cahier d'acteurs le volontarisme de la politique menée par l'État Français depuis une dizaine d'années en matière de recherche sur les nanosciences et les nanotechnologies. Selon ces deux organismes, le développement des nanosciences et des nanotechnologies tel qu'encouragé par l'État est mis "*au service de la collectivité nationale*". Ces deux organismes expliquent qu'ils ont pour cela développé deux stratégies différentes. Le CNRS estime mener "*une exploration scientifique*", tandis que le CEA cherche plus explicitement à lier *"recherche fondamentale et développement technologique"*. Ces organismes mettent de plus en avant leurs liens avec d'autres acteurs de la société : universités et industriels, pour développer les nanotechnologies.

PMO revient aussi sur ces questions de liens entre la recherche publique et l'industrie. Pour PMO, le développement des nanotechnologies est emblématique de la "Big Science". Ces développements bénéficient en effet d'investissements massifs et d'efforts conjoints d'une multiplicité d'acteurs issu du secteur privé et du secteur public (et en particulier des militaires). De plus, ces forces sont déployées dans un but précis et stratégique. Pour ce qui concerne les États-Unis, qui ont lancé la National Nanotechnology Initiative en 2001, cet objectif est selon PMO de :

> *"redonner aux Etats-Unis la supériorité écrasante dont ils ont joui dans l'après guerre."*
> *(Minime Introduction aux Nanotechnologies, PMO)*

Par ailleurs, pour cette organisation, le développement des nanotechnologies sur le modèle de la Big Science[31] s'impose dans de nombreux pays et la France n'est qu'un exemple parmi d'autres.

> *"Cette Big Science qui s'exprime en tech-english, constitue le fondement de la première puissance militaro-industrielle de la planète. Elle impose un modèle irrésistible à tous les états."*
> *(Minime Introduction aux Nanotechnologies, PMO)*

4.3.6.3 Agir pour rester dans la course

Si PMO clame son rejet des nanotechnologies et de leur modèle de développement, plusieurs autres acteurs estiment au contraire qu'il faut investir et agir pour rester dans la course. Ils formulent alors des recommandations pour que la France soit en mesure de peser sur la scène internationale en matière de nanotechnologies.

Ainsi, si le CNRS et le CEA se félicitent du soutien de l'État mais aussi des collectivités au développement des "nanos", de son côté les Entreprises du Médicament en appellent à l'État et aux collectivités pour qu'elles fassent tout pour rendre le territoire français plus attractif.

Partant de ce constat d'une concurrence mondialisée féroce, certains acteurs s'interrogent en effet sur la manière de permettre aux entreprises françaises de tirer leur épingle du jeu.

31. Par Big Science, PMO désigne donc ici toute activité scientifique reposant sur le déploiement de gros moyens financiers, de personnels et d'équipement et développée pour remplir un objectif précis, objectif qui lui vaut le soutien de l'armée et de l'industrie, qui toutes deux escomptent bénéficier de retombées bien précises de ces recherches.

Le LEEM, le MEDEF et la CFE-CGC désireraient que l'orientation des financements accordés aux nanotechnologies soit plus judicieusement organisée.

Le MEDEF et la CFE-CGC demandent un renforcement des partenariats publics/privés.

La CFE-CGC et le CES de Franche-Comté estiment qu'il est important de soutenir les PME innovantes.

L'UNSA et la CFE-CGC voudraient aussi qu'une adaptation de la formation de la main-d'œuvre future permette de tenir compte de l'avènement des nanotechnogies.

Le LEEM souhaiterait pour sa part que les législations sur les nanotechnologies soient adoptées en concertation avec tous les pays, de manière à ce que les industries françaises ne soient pas pénalisées.

Enfin, la CFE-CGC considère qu'une adaptation de la législation sur le droit de propriété intellectuelle est nécessaire.

Mieux orienter les financements et renforcer les partenariats public / privé Les Entreprises du Médicament estiment ainsi qu'il faudrait rationnaliser la manière dont sont actuellement accordés des financements aux nanotechnologies appliquées à la médecine et pour cela créer une structure fédératrice qui leur serait dédiée. De plus, le LEEM voudrait que la France s'intègre mieux dans les réseaux européens et investisse plus dans la recherche sur les nanotechnologies. Cette organisation met alors en avant les budgets colossaux déployés par les États-Unis, le Japon et l'Europe, se chiffrant en milliards de dollars.

Le MEDEF pointe aussi le rôle que l'État doit jouer, selon lui, pour assurer à la France de garder une bonne place dans la compétition scientifique et technologique. Ce syndicat patronal voudrait par ailleurs qu'au niveau européen l'effort de recherche soit renforcé et mieux coordonné. Enfin, le MEDEF souligne l'importance d'améliorer les partenariats publics/privés et ce, grâce à des structures mixtes de financement.

Cet accent sur l'importance de trouver une meilleure articulation entre recherche publique et secteur privé se retrouve également dans le cahier d'acteurs de la CFE-CGC. Ce syndicat remet d'ailleurs aussi en cause la manière dont sont orientés les investissements. Il estime qu'il faut définir des priorités et mettre en place des recherches croisant les expertises.

Épauler les PME La CFE-CGC propose également plusieurs pistes relatives à la manière dont il serait possible d'épauler les PME et PMI innovantes. Ce syndicat appelle ainsi à la mise en place d'une veille et d'une prospective pour fournir aux PME une vision claire des perspectives de développement. Il demande aussi à ce que soit renforcée la coopération au niveau de l'Europe pour éviter que les entreprises européennes ne se concurrencent. Enfin, la CFE-CGC appelle de ses vœux la mise en place d'une législation pour aider les PME, dans la lignée du Small Business Act américain qui, Outre-Atlantique, facilite leur accès à certains marchés, à des prêts et à certaines informations.

Le CES de Franche-Comté revient également tout au long de sa contribution sur la manière dont il est possible d'assurer la compétitivité des PME du secteur de la microtechnique et des nanotechnologies, dans un contexte de compétition farouche à l'échelle internationale. Pour cet acteur, il faut passer *"d'une économie d'imitation à une économie de l'innovation"* afin de s'adapter aux marchés et d'optimiser son positionnement en tenant compte des contraintes (réglementaires, acceptation des produits...).

Aussi pour le CES de Franche-Comté, les enjeux pour les PME du secteur des microtechniques et des nanotechnologies sont selon ses propres termes :

- d'apprécier l'éventail des besoins à satisfaire ;
- de connaître les marchés et combiner les technologies ;
- de se concentrer sur des savoir faire performants et spécifiques ;
- d'aller vers une mutualisation interentreprises.

Enfin, pour le CES de Franche-Comté, il importe de prendre en compte les ressources humaines pour reprendre ses propres termes. Il plaide pour le développement d'un "*dialogue social dans la filière microtechnique franc-comtoise*" afin que les questions d'organisation du travail et de conditions de travail soient prises en compte.

Former la main d'œuvre future Suivant cette idée affirmant l'importance de rester dans la course au développement des nanotechnologies, la CFE-CGC et l'UNSA estiment eux qu'il faut adapter la formation des futurs travailleurs. Cela passe pour la CFE-CGC par une amélioration du système éducatif et pour l'UNSA une modification de la formation des cadres, ouvriers et salariés.

Réglementer à une échelle supranationale Enfin, il serait, selon le LEEM, inconscient de prendre des mesures draconniennes en matière de réglementation seul, dans son coin, d'une part parce que les produits circulent et d'autre part pour ne pas handicaper les industries du pays.

D'autres acteurs comme la CFE-CGC mais pas seulement, reviennent d'ailleurs plus précisément sur le cas de la réglementation en matière de propriété intellectuelle.

4.3.6.4 Droits de Propriété Intellectuelle

Pour la CFE-CGC, il faut modifier les réglementations actuelles qui régissent le droit de propriété intellectuelle. Pour ce syndicat, les enjeux économiques sont énormes et la pression de la concurrence internationale, américaine ou asiatique, très importante. Or, selon la CFE-CGC qui rappelle que le brevet est une arme anticoncurrentielle, la législation française actuelle sur le dépôt de brevets handicape les entreprises de l'Hexagone. Il faut donc pour ce syndicat revoir cette législation rapidement. Cette organisation suggère d'ailleurs que les textes existants servent de canevas pour élaborer cette réglementation.

Cette demande d'un réexamen des droits de propriété intellectuelle est également relayée par d'autres acteurs (CLCV, collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie) mais accompagnée par d'autres arguments. La CLCV propose de son côté de légiférer rapidement pour éviter l'émergence de monopoles. Cette association de consommateurs indique en effet que le dépôt de brevet systématique par quelques firmes peut priver certaines populations de l'accès à certains traitements médicaux ou entraver le développement des recherches. Pour la CLCV, il faut donc adapter la politique des brevets, développer une recherche publique dynamique et garantir application du droit de la concurrence.

Concernant les Droits de Propriété Intellectuelle, le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie s'inquiète aussi des conséquences que pourraient avoir un verrouillage protectionniste de l'accès aux savoirs sur les équilibres géopolitiques. Il souligne que cet aspect constitue un élément clé dans l'arsenal destiné à dominer les autres compétiteurs engagés dans cette ruée vers la connaissance. Pour cet acteur, il faut donc réformer les accords internationaux sur ces droits pour éviter que ne se creusent les inégalités à l'échelle mondiale.

Pour leur part, les Amis de la Terre affirment également redouter que les nanotechnologies ouvrent la voie à une privatisation systématique de la matière inerte mais aussi du vivant. PMO signale d'ailleurs en s'appuyant sur une publication parue dans la revue "Science", que les dépôts de brevets sur les gènes humains sont monnaie courante en particulier pour les gènes associés à des maladies ou prédisposant à certaines affections. Enfin, PMO souligne aussi le rôle du secteur privé dans le déploiement de la National Nanotechnology Initiative américaine et les contreparties : exclusivité et brevets partagés, que les industriels reçoivent en l'échange de leurs investissements.

Certains acteurs se montrent ainsi beaucoup plus réservés face à cet engouement pour les nanotechnologies et les perspectives économiques qu'elles ouvrent.

4.3.6.5 Des critiques formulées à l'encontre du modèle économique et social sous-tendant les nanotechnologies

Le CES de Bretagne se montre ainsi plus prudent quant au potentiel économique du développement des nanosciences et des nanotechnologies, soulignant qu'il est fait mention de bénéfices à court terme alors que le développement des nanotechnologies est un engagement de long terme.

PMO rejette en bloc le projet de société promis par certains promoteurs des nanotechnologies. Ses membres refusent notamment le "nouvel âge d'or" promis par les nanotechnologies.

> *"Un "âge d'or" où la dégradation industrielle de l'environnement atteint un degré tel que des appareils portables doivent tenir chacun averti des risques. Un "âge d'or" où la résistance aux stress exige un corps renforcé. Un "âge d'or" d'où malgré la surabondance promise n'ont disparu ni l'inégalité ni la guerre puisqu'une écrasante supériorité militaire est censée en garantir la sécurité. Un "âge d'or" qui laisse subsister les frontières, les états ; qui profite d'abord à l'empire technoricain retranché dans sa forteresse high-tech et, au sein de cette forteresse, à la technocaste retranchée dans l'appareil étatico-industriel. Un "âge d'or" où non seulement les usines subsistent, mais pourvoient, entièrement automatisées, à une consommation de masse personnalisée, ce rêve du service marketing. Un "âge d'or" où, logiquement, le machinisme aboutit à l'usine agricole ; comme la manipulation linguistique (novlangue) à l'unification culturelle conforme (Bonne Pensée), et la manipulation génétique à l'Homme Meilleur Standard. Un "âge d'or" où l'humanité ne formant plus qu'un seul "cerveau" est transparente aux yeux du pouvoir et soumise à ses injonctions." (Minime introduction aux nanotechnologies, PMO)*

Pour PMO, la société que promettent les promoteurs des nanotechnologies ne relève ainsi pas de l'utopie, mais d'un monde liberticide et dénaturé, où des individus standardisés seraient abrutis par la consommation et les promesses de sécurité.

Enfin, les Verts, le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie, la Fondation Sciences Citoyennes et les Amis de la Terre critiquent pour leur part la logique du modèle économique et social qui sous-tend le développement des nanosciences et des nanotechnologies.

Les Verts parlent ainsi d'idéologies scientiste et productiviste qu'ils battent en brèche en réfutant :

- que les sciences et les technologies permettraient de résoudre tous les problèmes,
- que la production de toujours plus de biens matériels suffirait à améliorer le bien-être des individus et à assurer le bon fonctionnement de nos sociétés.

Pour leur part, les Amis de la Terre remettent en cause le *"technoscientisme"*[32] ambiant. Ils dénoncent la compétition économique engagée au travers des développements des nanotechnologies. Ils déplorent la course aux brevets sur la matière inerte ou vivante et estiment que ces investissements privilégiant recherches finalisées et développements technologiques ne permettent pas d'explorer les réponses à apporter aux problèmes sociaux que rencontrent nos sociétés.

La SEPANSO, la Fondation Sciences Citoyennes et le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie se montrent également très critiques envers la compétition scientifique et économique sous-tendant les développements des nanosciences et des nanotechnologies. Chacune de ces organisations l'exprime à sa manière. La SEPANSO affirme :

32. pour reprendre leur terme

"le désir de réaliser des profits et de gagner une certaine compétition scientifico-économique tue, chez les scientifiques, les industriels et les élus, toute conscience morale sans laquelle, comme chacun sait, il n'y a "point de science" mais "ruine de l'âme" (Rabelais, 1550) !"(Cahier d'acteurs de la SEPANSO)

La Fondation Sciences Citoyennes, elle indique que :

"*La domination de quelques très gros acteurs sur la recherche publique et le secteur privé industriel n'a jamais été aussi forte. Leur souci du bien commun disparaît derrière une politique de puissance et de rivalité mimétique qui gaspille les ressources, entraîne de nombreux accidents et conflits et entrave le développement d'alternatives capables de répondre aux problèmes actuels." (Cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes)*

Enfin le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie écrit :

"les nanos ne constituent pas un champ disciplinaire scientifique sinon, pour l'heure, un slogan marketing qui masque une grande variété de recherches et d'utopies. Les nanotechnologies sont devenues un nouveau champ de bataille pour la captation de ressources rares, humaines et financières, au détriment d'une réflexion élargie à la société." (Cahier d'acteurs du collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie)

Cette dernière organisation explique d'ailleurs que le monde de l'argent a envahi la chaîne de production et d'usage des savoirs et estime que "*le court-termisme de la finance est incompatible avec une politique de recherche et d'innovation*". Quant aux conséquences sociales de ce modèle de développement économique, elles sont, pour cet acteur, désastreuses d'un point de vue humain, plaçant les préoccupations du bien-être des travailleurs loin derrière les impératifs de rendement actionnarial (collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie).

Cette remise en cause des priorités de recherche se retrouve dans le cahier d'acteurs des Verts qui dénoncent les investissements massifs dans les nanotechnologies sous la pression de certains acteurs économiques pour en tirer rapidement de nouveaux produits et donc de nouveaux bénéfices. Les Verts déplorent ainsi :

"Dès maintenant, constatons que tout à leur euphorie industrielle, les décideurs cantonnent de plus en plus l'objet de la recherche scientifique à la "recherche finalisée". On dit qu'il faut produire, diffuser, créer des besoins et qu'étudier, comprendre les nano-produits viendra plus tard." (Cahiers d'acteurs des Verts)

Certains acteurs (Les Amis de la Terre ; Les Verts ; le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie, Fondation Sciences Citoyennes, Sciences et Démocratie ; CES de Bretagne, CES de Rhône Alpes ; CESE ; Indecosa-CGT) réclament aussi une autre répartition des budgets de recherche alloués aux nanosciences et aux nanotechnologies.

La demande de moratoires ou d'une autre répartition des budgets de recherche
Les Verts, Sciences et Démocratie, le CES de Rhône Alpes, le CESE ou l'Indecosa-CGT demandent ainsi que les recherches sur l'évaluation de la nocivité des nanomatériaux pour la santé et l'environnement soient renforcées et plus largement financées. Sciences et Démocratie souligne de plus la nécessité que la France se dote de capacités plus importantes en matière de toxicologie et d'épidémiologie.

Le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie et la Fondation Sciences Citoyennes réclament également un renforcement des efforts de recherche en toxicologie, écologie et épidémiologie mais également qu'un soutien plus affirmé soit assuré aux recherches en sciences humaines et sociales. Le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie juge ainsi que 15 % des financements publics Nanos français et européens devraient être attribués à des recherches en sciences humaines et en écologie, et 15

% à des études d'impacts épidémiologiques et toxicologiques ; quant à la Fondation Sciences Citoyennes, elle réclame que 10% des budgets de financements Nanos aillent aux sciences humaines et sociales et que 10% de ces budgets soient consacrés à l'écotoxicologie, l'écologie, l'épidémiologie et au recrutement de chercheurs dans ces disciplines. Le développement de recherches en toxicologie, écotoxicologie et en sciences humaines et sociales est aussi préconisé par le CES de Bretagne sans toutefois que cet acteur n'indique un pourcentage des budgets qui devraient leur être alloués.

Parallèlement à ces demandes de réorientation des financements, plusieurs organismes demandent aussi l'imposition de moratoires :

- sur la recherche et la commercialisation des nanotechnologies (Amis de la Terre) ;
- sur la recherche appliquée (Fondation Sciences Citoyennes).

Le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie souhaite également que l'expérimentation hors laboratoires protégés tombe sous le coup d'un arrêt au moins transitoire de ces recherches. Toutefois cet appel à des moratoires sur certaines recherches ne fait pas l'unanimité. Sciences et Démocratie soulève ainsi des objections à l'adoption de ce genre de mesures qui, selon cette association, ne permettront pas de régler les problèmes soulevés par les nanosciences et les nanotechnologies.

> *"Nous souhaitons attirer l'attention des organisations qui se prononcent pour un moratoire, sur le risque que présente cette approche : de même que de façon opportuniste, des projets de recherche ont été rebaptisés pour pouvoir accéder plus facilement à certains financements, ils seront débaptisés tandis que les problèmes, eux, persisteront." (Cahier d'acteurs de Sciences et Démocratie)*

Pour leur part, les Verts voudraient aussi que l'État et les collectivités cessent de financer les développements militaires et les grands groupes industriels jusqu'à temps qu'une stratégie européenne de recherche et de production soit mise en place. Concernant ce type de recherches particuliers, la fondation Sciences Citoyennes comme le collectif membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie demandent eux, que soit publié un registre des thèses sous embargo et d'une liste des laboratoires publiques et privés travaillant à des recherches sur les nanosciences et les nanotechnologies.

Finalement, il nous semble que sur ces aspects économiques, sociaux et géostratégiques, deux types de positionnements presque antagonistes apparaissent.

D'une part, toute une série d'acteurs encouragent ces développements, en arguant qu'ils vont permettre de relancer l'économie française et européenne en temps de crise, de créer des emplois et de mettre au point de nouveaux biens matériels qui contribueront à résoudre les maux de nos sociétés et amélioreront le bien-être des individus. Ces acteurs sont nombreux, comme le montre la figure 4.5 qui, d'une certaine manière, matérialise ces deux façons différentes d'aborder les questions économiques et sociales posées par les nanotechnologies. Ainsi le réseau de nœuds et de liens dans la partie inférieure de la figure est dense. Beaucoup citent les bénéfices des nanotechnologies. En bas à gauche, de cette figure, on s'aperçoit aussi que les pistes pour "rester dans la course" tiennent une place importante dans le cahier de quelques acteurs : le LEEM, la CFE-CGC, le MEDEF, le CES de Franche-Comté.

D'autre part, à l'opposé sur notre carte de la figure 4.5, d'autres acteurs critiquent ces postulats et le modèle économique et social sur lequel s'ancre actuellement le développement des nanosciences et nanotechnologies. Ils remettent alors en cause la manière dont les "nanos" sont développées en société ou dans le cas de PMO, à l'extrémité septentrionale de la figure 4.5, les rejettent en bloc.

Par ailleurs, les liens entre ces deux pôles de discussions apparaissent, sur cette représentation, assez distendus. Ce ne sont en effet pas les mêmes acteurs qui mettent en avant les "progrès" permis par les nanotechnologies et ceux qui remettent en cause le modèle éco-

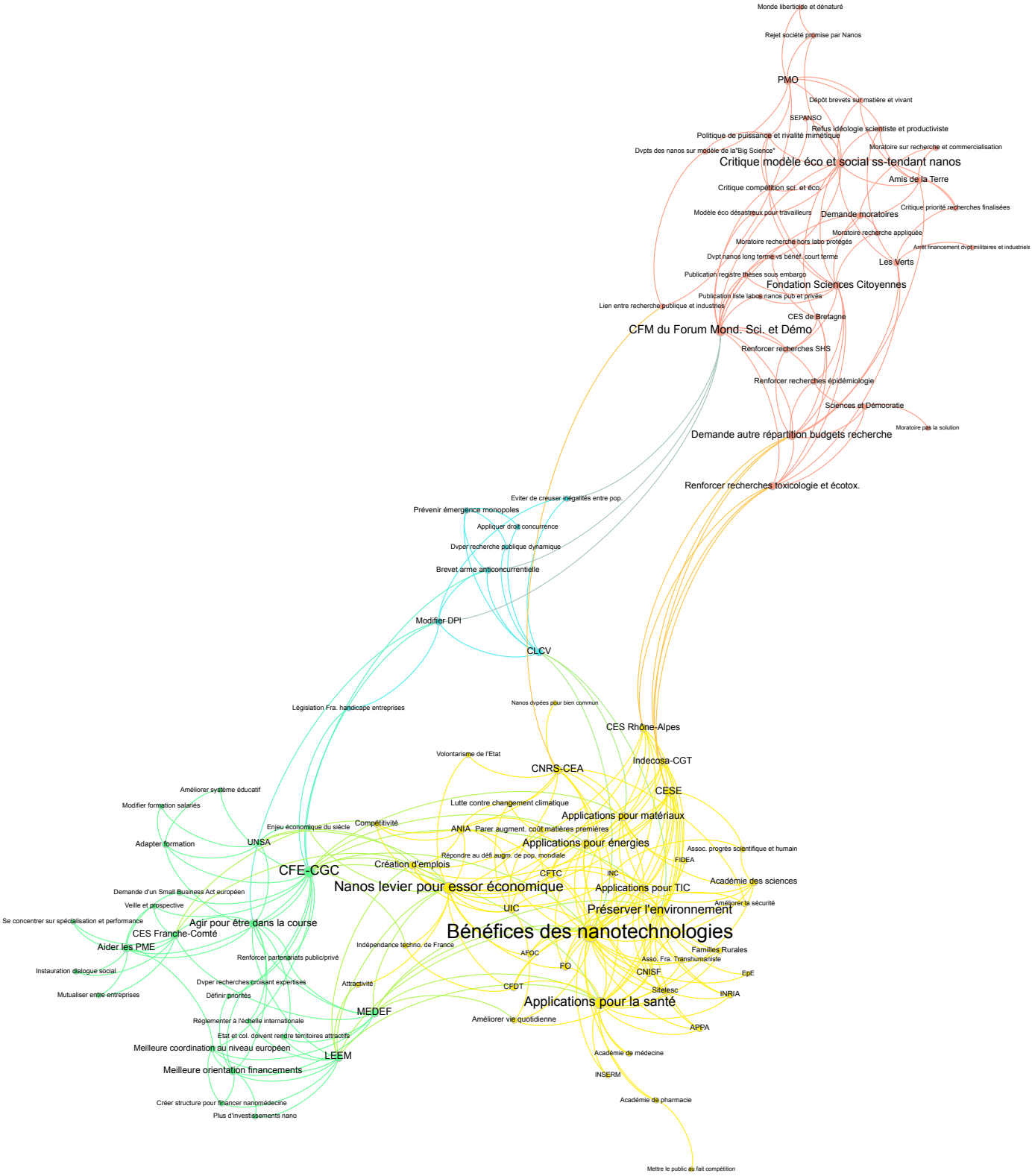


FIGURE 4.5 – Objets de préoccupation des différents acteurs relatifs aux aspects économiques, sociaux et géostratiques des développements "nanos"

nomique et social sur lequel reposent ces développements. Le graphique n'est toutefois pas disjoint. Entre ces deux pôles, vient s'intercaler une sorte de "zone tampon" articulée autour de deux thèmes de débat : la modification des droits de propriété intellectuelle et l'allocation de budgets plus importants aux recherches en toxicologie.

4.4 Positionnement personnel et interrogations dans une perspective éducative

4.4.1 Les nanotechnologies : un ensemble de pratiques et d'objets hétéroclites qui trouvent leur unité au travers d'un projet politique

Si comme nous l'avons mentionné au paragraphe 4.2.1, nous avons réalisé cette analyse des controverses en nous efforçant d'être le "plus symétrique possible" dans notre examen des prises de positions et des arguments des acteurs, nous ne parlons pas pour autant de nulle part. Il est ainsi indispensable d'éclaircir ce que nous entendons personnellement par nanosciences et nanotechnologies, ne serait-ce que parce que la vision que nous en avons pèse sur les orientations éducatives que nous avons proposées dans le reste de notre recherche.

Pour nous, les nanosciences et les nanotechnologies sont un ensemble de pratiques et d'objets scientifiques et technologiques hétéroclites qui, bien que fédérés par une échelle de taille, n'existent d'abord, comme le souligne Laurent (2010), qu'au travers de politiques scientifiques et technologiques et donc de projets de gouvernance de la recherche et de l'innovation.

Elles surgissent ainsi de la conjonction entre

- une volonté politique,

- l'existence de nouveaux instruments permettant d'observer et de manipuler la matière aux petites échelles

- et l'intéressement d'une grande quantité d'acteurs : scientifiques, industriels, consommateurs...

Les nanosciences et les nanotechnologies surgissent par ailleurs à un moment donné, dans une société mondialisée marquée par une compétitivité exacerbée entre les pays, compétition aussi bien scientifique qu'économique. Ce climat de concurrence trouve un écho et se renforce au travers des discours qui clament l'impérieuse nécessité de prendre part à la course à l'innovation et l'inéluctabilité de ces développements.

Les nanosciences et les nanotechnologies surgissent enfin dans un contexte où l'activité scientifique et industrielle est marquée par les idéologies néo-libérales (Bensaude-Vincent, 2009; Pestre, 2003). La commission européenne promeut depuis les années 2000 le développement d'une société et d'une économie de la connaissance. Des chercheurs s'interrogent sur le droit de propriété intellectuelle, puisqu'on dépose des brevets sur la matière inerte et le vivant (Azam, 2008; Bensaude-Vincent, 2009).

Ces éléments contribuent à façonner les nanosciences et les nanotechnologies.

Le projet de leur développement se concrétise au travers

- du déblocage de fonds importants (National Nanotechnology Initiative, Plan NanoInnov pour ne citer que les programmes états-uniens et français),

- de la mise en place de réseaux (comme le C'Nano en France, la Fondation Nanosciences à Grenoble),

- de la mise en place d'outils de communications (sites Internet d'information du type *Nanowerk*[33], revues scientifiques comme Nature nanotechnology, de conférences scientifiques comme l'American Physical Society meeting "Trends in Nanoscience 2013" ou encore toutes celles répertoriées sur le site *nanoconferences*[34]),

33. www.nanowerk.com
34. www.nanoconferences.com

- de l'obtention de résultats scientifiques et de la mise au point de nouveaux objets nano-fonctionnalisés,

- et des dépôts de brevet.

Et au fur à mesure de cette concrétisation, le développement des nanosciences et des nanotechnologies contribue dans le même mouvement à modeler le social au travers d'un faisceau de normes, de lois, de la mobilisation de militants associatifs, de nouveaux choix politiques effectués par des gouvernements qui décident d'investir à leur tour dans les nanotechnologies.

Nous estimons donc que les nanotechnologies relèvent d'un projet politique qui ne peut-être pensé en dehors de son contexte d'émergence. Et ce projet est un projet porteur d'une profonde recomposition du social. C'est la raison pour laquelle il nous semble primordial qu'il soit débattu, négocié, remodelable et qu'il ne soit pas posé d'entrée de jeu comme inéluctable. C'est aussi la raison pour laquelle nous pensons que l'éducation aux sciences doit permettre aux élèves de "s'initier à la politique des nanotechnologies" pour reprendre l'expression de Larochelle et Désautels (2006) qui proposent d'initier les élèves à "la politique des technosciences".

Enfin, un autre trait caractéristique du programme des nanotechnologies est la prise en compte explicite d'une anticipation des réactions potentielles de la société à son développement dans le processus de mise en œuvre de ce programme. En ce sens, nous adhérons à l'idée de "projet politique global" proposée par Laurent (2010). Comme cet auteur le dit lui-même, le programme de développement des nanotechnologies mobilise les sciences humaines et sociales et embarque avec lui l'idée de participation du public, public parfois subversif qui, dans certains cas comme celui de PMO, refuse de se plier à l'exercice "participatif". Cet enrôlement de la société dans les politiques des nanotechnologies fait d'ailleurs partie intégrante de la controverse. Les acteurs ne s'interrogent pas seulement sur les productions des nanotechnologies : certains questionnent l'appropriation par les citoyens des orientations sciences et des techniques ; certains critiquent les procédures de débats mises sur pied ; certains enfin remettent en cause le modèle économique et social qui contribue à modeler le programme de développement des nanotechologies.

Cette manière d'envisager ce que sont les nanosciences et les nanotechnologies n'est pas sans conséquence sur les enjeux éducatifs que nous assignons à leur introduction dans l'enseignement secondaire.

4.4.2 Interrogations dans une perspective éducative

Sur le plan éducatif, le contenu de notre analyse des controverses effectuée à partir des cahiers d'acteurs de la CNDP et d'un des nombreux textes produits par PMO pose au moins une question.

Pour aborder les interrogations soulevées par les nanosciences et les nanotechnologies en classe, peut-on examiner une seule des dimensions de la controverse de manière autonome, en la coupant du reste des questionnements fédérés par le préfixe nano ?

La réponse que nous apportons à cette question après cette étape d'analyse et d'éclaircissement de notre positionnement personnel est négative. En tronquant artificiellement les débats, on perdrait, en isolant certains objets ou certaines pratiques, la notion de programme politique qui nous semble capitale pour comprendre ce que sont les nanosciences et les nanotechnologies. De plus, selon nous, une éducation aux sciences pour la citoyenneté passe par l'appréhension des controverses telles qu'elles existent dans la sphère publique, dans toute leur complexité. Il nous semble ainsi essentiel de retenir une approche globale, sans laquelle la compréhension des raisons pour lesquelles les "nanos" provoquent des débats en société (et parfois des oppositions vives), risque d'échapper aux élèves.

Ce choix éducatif soulève par ailleurs une difficulté. Comment aborder l'ensemble des questionnements soulevés par les développements des nanosciences et des nanotechnologies sans en donner un traitement orienté ?

La réponse que nous proposons consiste à présenter aux élèves un éventail de prises de positions et d'arguments respectant la diversité des thèses soutenues par les acteurs prenant part à la controverse. Ce respect de la multiplicité des points de vue s'appuie et est rendu possible par notre analyse des controverses préalable à l'élaboration d'outils pédagogiques.

En outre, ce choix de conserver la diversité des prises de position sur les nanotechnologies a une conséquence sur la manière dont nous avons introduit les nanosciences et les nanotechnologies en classe. Nous avons choisi d'introduire les controverses soulevées par les nanosciences et les nanotechnologies à l'école telles qu'elles existent en société, sans en proposer une reconstruction simplificatrice qui occulterait certaines thématiques discutées ou écarterait arbitrairement certaines prises de position.

Finalement, pour tenir ces deux exigences,

- celle d'aborder les questionnements soulevés par les nanosciences et les nanotechnologies sans en proposer une vision idéologiquement orientée,
- et celle de tenir compte de la variété des enjeux accompagnant les développements des nanotechnologies,

une solution peut être d'engager les élèves dans un travail d'exploration de ces controverses.

C'est ainsi que nous avons entrepris d'échafauder une séquence pédagogique sur les nanotechnologies avec l'ambition qu'elle permette à des élèves de lycée de comprendre les controverses soulevées par les "nanos" et de se forger un premier avis informé sur ces questions.

Deuxième partie

Travail empirique

Chapitre 5

Méthodologie

Nous avons choisi d'ancrer notre travail dans la lignée du mouvement des recherches *design-based*. Qu'est-ce que cela signifie ? Plusieurs choses et d'abord que nous avons élaboré des situations pédagogiques mises en œuvre dans des cadres "authentiques", en l'occurrence dans des classes de lycée ne bénéficiant pas d'un aménagement particulier.

Travailler dans la lignée des recherches design-based signifie aussi que nous avons pris le parti d'éprouver en pratique, au travers de cycles d'élaboration d'activités, de mise en œuvre et d'analyse, quelle forme peut éventuellement prendre la scolarisation des controverses soulevées par les nanotechnologies, à un niveau lycée, dans une perspective d'éducation aux sciences pour l'action.

Les lignes qui vont suivre sont consacrées à la description et l'analyse des activités que nous avons proposées à des lycéens. Pour commencer nous allons détailler dans ce chapitre notre terrain empirique, la séquence pédagogique que nous avons construite, mise en œuvre puis raffinée. Nous reviendrons aussi sur les données que nous avons recueillies puis finalement, sur nos ancrages théoriques pour l'analyse et sur la manière dont nous avons procédé pour examiner nos données.

5.1 Description du terrain empirique

5.1.1 Grenoble et le développement des nanotechnologies

Où avons nous travaillé ? Dans l'académie de Grenoble.

Ce détail n'est pas anodin car Grenoble est l'un des principaux pôles de développement des nanotechnologies en Europe.

Depuis plusieurs années et en particulier depuis la seconde guerre mondiale, l'histoire de cette ville est en effet profondément marquée par le développement des sciences et des technologies et plus particulièrement de la physique (Pestre, 1990).

Par ailleurs, depuis le début des années 2000, Grenoble s'est fermement engagée dans le développement des nanotechnologies. Ces développements visent, selon leurs promoteurs qui présentent cette évolution comme "quasi naturelle", à conforter le statut de technopole de Grenoble (Joly *et al.*, 2005; Liéval, 2009). Ces orientations suscitent toutefois des oppositions vives et visibles.

5.1.1.1 L'organisation de la recherche grenobloise pour développer les nanotechnologies

Dans un rapport commandité par la communauté de communes grenobloise ("la Métro") en 2005 (Joly *et al.*, 2005), un ensemble de chercheurs académiques et de représentants de la Fondation Sciences Citoyennes se sont attachés à décrire l'organisation de la recherche grenobloise en matière de nanotechnologies.

Trois traits caractéristiques ont été soulignés.

D'abord Joly *et al.* (2005) parlent d'une logique cumulative.

À la fin des années 90, la décision est prise de miser sur la recherche en physique et en chimie pour permettre à Grenoble de conserver une place de choix dans le domaine des semi-conducteurs et de poursuivre le mouvement de miniaturisation des transistors butant sur le problème des effets quantiques apparaissant aux échelles nanométriques. Les responsables du CEA-Léti choisissent alors de mettre en place Minatec, pôle associant recherche, enseignement et plateformes industrielles. Les promoteurs de ce projet obtiennent le soutien de la Métro qui participe aux investissements. Cette décision a joué ensuite un rôle clé dans le choix de la ville pour accueillir d'autres infrastructures.

En 2000, le projet NanoBio d'un pôle d'innovation en micro et nanotechnologies appliquées à la santé et à la biologie, voit le jour, initié par le CEA et l'Université Joseph Fourier.

L'existence de Minatec a aussi été décisive, selon Joly *et al.* (2005), dans le choix d'implantation à Grenoble du centre de recherche et développement industriel "Alliance Crolles 2", continué aujourd'hui par le projet "Nano 2012".

Grenoble est également au cœur du pôle de compétitivité mondial Minalogic qui travaille au rapprochement des micro et nanotechnologies et de l'intelligence logicielle embarquée (Joly *et al.*, 2005).

C'est aussi la ville où se développe Clinatec, une "clinique" de recherche sur l'utilisation des nanotechnologies en hybridation avec le vivant. On y développe des nano-implants cérébraux pour lutter contre certains symptômes de maladies neurodégénératives ou pour faire communiquer à distance "par la pensée" des êtres vivants avec des ordinateurs.

Peu à peu, Grenoble devient ainsi progressivement de plus en plus engagée dans le développement des nanotechnologies. Pour Liéval (2009) l'implantation de Minatec participe d'ailleurs d'une vision particulière d'aménagement du territoire et ce choix d'aménagement crée un "milieu associé" (Soubeyran, 2007, cité par Liéval, 2009) : le projet modifie le milieu et cette modification crée une situation de dépendance du milieu à l'égard du projet.

Ce mouvement de spécialisation de Grenoble dans les nanotechnologies se double selon Joly *et al.* (2005) d'une transformation de l'organisation de la recherche grenobloise. Tout en soulignant que les logiques d'hybridations entre public et privé ne sont pas nouvelles, Joly *et al.* (2005) expliquent que :

> *"l'idée de base est de réorganiser les espaces de production autour de "plateformes" qui assurent l'interface entre recherche et industrie, hybridant ainsi des logiques publiques et privées."* (Joly *et al.*, 2005, p. 13)

L'accent est mis sur le dépôt de brevets.
Les auteurs du rapport de la Métro mentionnent aussi la création de "l'IDEA's lab" de Minatec pensé par ses concepteurs comme un endroit où des chercheurs en sciences humaines et sociales étudient les "usages" pour mieux pouvoir piloter l'innovation.

Enfin le troisième trait caractéristique de la recherche grenobloise qu'identifient Joly *et al.* (2005) et que pointe également Bensaude-Vincent (2009) est l'existence d'un réseau d'élites partageant une vision commune du développement de la ville par l'innovation. Cette élite soudée par des liens professionnels et informels considère que la réussite économique de Grenoble est passée et va se poursuivre au travers des hautes technologies. À ce propos, Joly *et al.* (2005) écrivent :

> *"Cette culture du développement par les "high tech" est probablement l'une des clés du dynamisme actuel de Grenoble. Mais elle s'inscrit dans ce que nous proposons d'appeler une "économie des promesses" : les promesses d'un monde meilleur, lié à la révolution technologique qui génère un univers d'attentes très précoces ; la croyance en une conception linéaire de l'histoire, le progrès technique générant le*

progrès social. La compétition internationale et la logique de l'urgence qui lui est liée peuvent donner le sentiment qu'il n'y a pas de possibilité de choix et que la seule alternative est d'être dans la course ou de ne pas y être." (Joly *et al.*, 2005, p. 16)

Le choix de développer les nanotechnologies est alors posé par certains de ses promoteurs comme une évidence. Analysant le discours de certains scientifiques et politiques en charge de l'aménagement du territoire grenoblois, Liéval (2009) identifie une dialectique entre un discours global sur les nanotechnologies qui souligne les nombreuses incertitudes attachées à ces développements et un discours local de certitude mettant en avant les bénéfices du développement des nanotechnologies pour le territoire.

5.1.1.2 Une contestation radicale de ces développements et du modèle de prise de décisions qui les sous-tend

Ces initiatives ainsi que le processus de décision pour les mener à bien font toutefois l'objet de critiques. Ces critiques ont été d'abord marginales, lors des délibérations du conseil de la Métro. Dès 2001, une minorité d'élus Verts du mouvement ADES (Association Développement Ecologie Solidarité) ont objecté aux choix d'investissements dans les nanotechnologies (Joly *et al.*, 2005; Liéval, 2009). À ces critiques minoritaires, les promoteurs du développement des nanotechnologies ont répondu par un discours de certitude et les arguments des opposants au projet n'ont finalement pas été pris en compte (Joly *et al.*, 2005).

Par la suite, à partir de 2003-2004, d'autres voix se sont élevées à Grenoble pour remettre en cause les orientations scientifiques et technologiques qui ont été prises. Une opposition radicale aux nanotechnologies s'est développée, en particulier avec l'apparition du mouvement Pièces et Main d'Œuvre qui ne regroupe cependant qu'un petit nombre de militants. Cette organisation dont nous avons déjà examiné certains arguments au chapitre 4 se manifeste régulièrement pour s'opposer développement des "nécrotechnologies" (perturbation de diverses inaugurations, dérangement des stands du CEA à la fête de la science, occupation de grues lors de la construction de Minatec...). Leur lecture du développement grenoblois et leur vision de la "légende dorée" locale contraste considérablement avec celle des promoteurs des nanotechnologies, que PMO désigne comme le "technogratin". Laurent (2007) a ainsi comparé le discours des militants de PMO à ceux des artisans du développements des nanotechnologies à Grenoble :

- Alors que les promoteurs des nanotechnologies, considèrent que le développement technologique sert le développement économique du bassin grenoblois, les activistes de PMO considèrent qu'il s'agit d'un programme de contrôle renforçant la domination de l'État et servant les intérêts du marché au détriment de ceux des citoyens.
- Alors que les promoteurs des nanotechnologies regardent le "modèle grenoblois " comme un modèle particulièrement efficace de coopération entre les différents acteurs locaux permettant l'émergence d'innovations technologiques et de retombées économiques, les militants de PMO y voient une collusion inacceptable entre la science, le politique et le marché, favorisant un processus de prise de décision qui fait fi de l'intérêt général des citoyens.
- Alors que les promoteurs des nanotechnologies organisent la recherche de manière à resserrer les relations entre les domaines technologiques, entre recherche fondamentale et appliquée et entre recherche publique et industrie, les militants de PMO font "converger les combats". Ils critiquent les nanotechnologies en reprenant des arguments de combats plus anciens contre les OGM et le nucléaire.
- Enfin, alors que les promoteurs des nanotechnologies à Grenoble souhaitent se démarquer des discours futuristes sur la convergence NBIC, les militants de PMO établissent un lien direct entre les développements des nanotechnologies à Grenoble et les discours sur l'amélioration des performances humaines états-uniens.

Ainsi à Grenoble, les oppositions aux nanotechnologies sont vives même si elles ne sont le fait que d'une partie restreinte de la population. Elles laissent par ailleurs des traces visibles comme par exemple sur les murs de la ville ou dans différentes manifestations où sont distribués des tracts "No Nano"[1].

5.1.2 Les ateliers Nano@school

Dans ce contexte, des initiatives sont développées par des universitaires en partenariat avec l'inspection régionale d'académie de sciences physiques et le CEA, qui joue un rôle majeur dans le développement et la promotion des nanotechnologies à Grenoble. Ces actions visent à "faire découvrir les nanotechnologies" aux lycéens scolarisés dans la région.

Des ateliers au CIME Nanotech Depuis l'année scolaire 2010-2011, des classes de lycée ont ainsi la possibilité de prendre part aux ateliers "Nano@school". Il s'agit d'ateliers d'une journée se déroulant au CIME Nanotech, le Centre Interuniversitaire de MicroÉlectronique et Nanotechnologies. Sur le site Internet de ce centre, on peut lire que sa vocation est de

> *"- promouvoir et proposer les enseignements en micro et nanoélectronique, tant au plan de la formation initiale que de la formation continue en mettant à disposition des moyens techniques,*
> *- permettre le développement de la recherche scientifique en microélectronique,*
> *- aider au soutien industriel du secteur de la microélectronique, participer et soutenir les actions d'enseignement et de recherche des programmes européens."*

Pour cela, le CIME regroupe 8 plateformes dotées d'un équipement performant mis à la disposition des étudiants mais aussi des laboratoires de la région. Nano@school a donc lieu dans un centre d'enseignement universitaire dont l'activité principale est d'accueillir des étudiants ou des chercheurs.

Par ailleurs, ce centre occupe une position particulière dans la ville (voir figure 5.1). Il est en effet situé au sein de ce que les grenoblois appellent le "polygone scientifique" qui regroupe Minatec et les bâtiments du CEA Grenoble, de nombreux laboratoires du CNRS, mais aussi bon nombre des grands instruments scientifiques de la ville comme le synchrotron ou la source de neutrons de l'Institut Laue-Langevin. En venant au CIME, les élèves de lycée qui participent à Nano@school sont au contact de l'environnement technoscientifique grenoblois.

Des ateliers "à la carte" Suivant les disponibilités des salles et des encadrants, mais aussi selon les desiderata des professeurs, le contenu d'une journée Nano@school peut varier.

Lorsque les élèves arrivent à Grenoble vers 9H, ils sont généralement accueillis par le directeur du CIME qui leur propose un petit exposé introductif d'environ une demi-heure consacré à la présentation du centre et de la microélectronique. Les élèves entendent ainsi parler d'industrie du silicium, de transistors, de miniaturisation, de salle blanche, de lithographie.... Puis, au terme de cette introduction, la classe se scinde en plusieurs groupes qui se répartissent sur différents ateliers d'une durée de 2H30.

Parmi ces ateliers, l'un d'entre eux est central dans l'organisation actuelle de Nano@school car tous les élèves sans exception y prennent part pendant l'une des deux demi-journées qu'ils passent au CIME. Cet atelier que nous nommerons "l'atelier nanomonde" en référence au nom de la salle où il se déroule, traite des tailles et des échelles mais aussi des microscopies

1. Pour ne citer que deux exemples, alors que le débat public organisé par la Commission Nationale du Débat Public allait avoir lieu à l'hiver 2009-2010, des tracts étaient distribués aux étudiants de licence sur le campus ou étaient remis entre les mains calleuses des amateurs de montagne se réunissant dans la salle de spectacle du Summum pour les rencontres du cinéma de montagne.

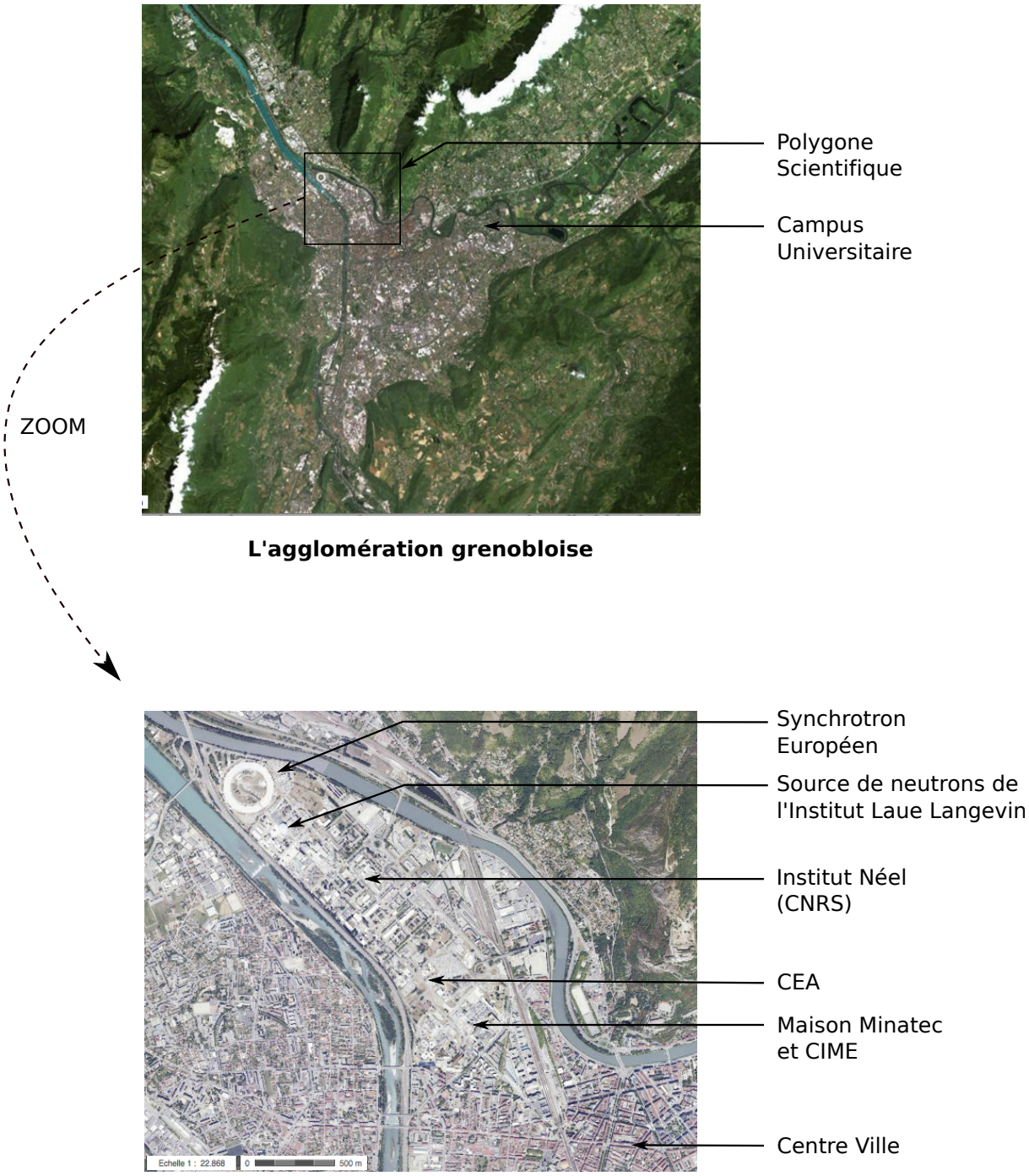


FIGURE 5.1 – Vues aériennes de Grenoble et du polygone scientifique
(Source : http ://www.geoportail.gouv.fr)

de champ proche qui permettent de sonder la matière à l'échelle de l'atome. Il s'organise en deux temps. D'abord les élèves travaillent par petit groupe, souvent par binôme. Ils ont à leur disposition des microscopes USB branchés sur ordinateur et ils observent en autonomie ce qu'ils veulent (peau, tissus de différents types, pixels d'un écran...). Ils peuvent ensuite effectuer d'autres observations avec des microscopes binoculaires de grandissement 400. Ils peuvent notamment visualiser les sillons d'un CD, d'un DVD et d'un Blue Ray.

Suite à cette phase où les élèves explorent les différentes échelles essentiellement par eux-mêmes, l'encadrant intervient pour leur parler du problème de la diffraction qui interdit de regarder des objets de taille inférieure à un peu moins d'un micron avec de la lumière visible. On leur présente alors des microscopes de champ proche et en particulier le microscope à force atomique (AFM). Deux de ces appareils sont en effet en marche dans la salle "nanomonde" et les élèves peuvent les voir fonctionner. Des questions comme celles des interactions prédominantes aux différentes échelles, du problème technologique de la maîtrise des vibrations, de l'influence de la taille de la pointe d'AFM sur la résolution sont alors abordées. Enfin, l'atelier se termine par une présentation d'un microscope à effet tunnel, que de nouveau, les élèves peuvent voir fonctionner.

L'atelier Nanomonde constitue ainsi l'un des piliers de Nano@school. Cependant d'autres activités sont aussi proposées aux élèves suivant le choix des enseignants et les contraintes pesant sur les salles du CIME et les encadrants.

Les élèves peuvent dans certains cas prendre part à la visite d'une salle blanche. Ils sont alors initiés aux techniques de lithographie sur silicium. Toutefois, pas plus de huit élèves ne peuvent participer à cet atelier.

Un autre atelier, l'atelier "Biotech", propose aux élèves de faire un TP d'extraction d'ADN mobilisant des techniques de biotechnologies.

Une activité de conception assistée par ordinateur est également parfois mise en place. Les élèves y sont sensibilisés à la fabrication des processeurs.

Enfin, deux nouveaux ateliers, créés au début de l'année 2012 permettent aux élèves pour l'un de travailler avec des MEMS [2] sur la détection de vibrations ; pour l'autre d'utiliser un logiciel de simulation de molécules carbonées (graphène, fullérène, nanotube de carbone...) développé à l'INRIA [3].

Finalement, un élève qui se rend à Nano@school suit sur place la présentation introductive du CIME et de la microélectronique, l'atelier Nanomonde et l'un des autres ateliers que nous venons d'énumérer [4].

Organisation, encadrement et recrutement des professeurs participants Ces ateliers constituent donc une opportunité pour les élèves de manipuler des équipements dont un lycée ne pourrait pas disposer. Cependant, actuellement seul un petit nombre de classes de lycée peuvent être accueillies. Lors des années scolaires 2010-2011 et 2011-2012, un peu plus d'une vingtaine de classes au total [5], toutes de niveau première et très souvent de filière scientifique, se sont rendues au CIME dans ce cadre [6]. Ceci s'explique en partie par le fait

2. Un MEMS ou micro système électromécanique est un microsystème servant de capteur ou d'actionneur. En l'occurence ici, les MEMS utilisés par les élèves mesurent l'accélération et sont employés pour détecter les vibrations du support sur lequel ils sont fixés ou posés.

3. Institut National de Recherche en Informatique et Automatique

4. Ou deux des autres ateliers s'il s'agit de celui sur les MEMS qui va de pair avec celui sur le logiciel de simulation développé par l'INRIA.

5. Soit un peu plus de dix classes par an.

6. Dans le système scolaire français la classe de première est l'avant dernière classe avant le baccalauréat, diplôme de fin d'études secondaires, permettant l'entrée dans l'enseignement supérieur. En classe de première, les élèves ont environ 16-17 ans. Les élèves de première scientifique suivent un enseignement général mettant plus particulièrement l'accent sur les mathématiques, les sciences physiques et les sciences de la vie et de la

que les encadrants intervenant au sein de Nano@school sont essentiellement des enseignants chercheurs ou des chercheurs. Par conséquent, un des obstacles important interdisant pour l'instant d'imaginer augmenter le nombre des élèves accueillis au CIME, est qu'il faut trouver des intervenants disponibles pour encadrer ces ateliers.

Ces intervenants qui reçoivent les élèves à Nano@school sont rattachés soit à l'université et à un laboratoire de recherche grenoblois, soit au CEA. Toutefois, outre l'université et le CEA, une troisième institution collabore à l'élaboration de ces ateliers Nano@school : l'éducation nationale. Une inspectrice régionale d'académie de sciences physiques a ainsi été associée à l'élaboration de ce projet dès son année de lancement. En 2010-2011, elle a d'ailleurs sollicité deux enseignants de sa discipline pour participer à la réalisation de matériel pédagogique directement en lien avec le contenu des ateliers du CIME afin d'épauler les professeurs dans leur préparation en classe de la venue de leurs élèves à Nano@school. L'un de ces professeurs a d'ailleurs obtenu un détachement de l'éducation nationale pour travailler au CEA sur Nano@school pour l'année 2011-2012.

Enfin, l'éducation nationale joue un rôle important dans le recrutement des enseignants dont les classes participent à Nano@school. En 2010-2011 comme en 2011-2012, un appel à candidature a ainsi été diffusé par mail à tous les enseignants membres du réseau "ASUR" (acronyme d' "Articulation Second degré Universités") qui est présenté sur le site de l'académie de Grenoble comme un chantier académique ouvert par le rectorat en 2005 pour "*renforcer les liens lycées-universités et les inscrire dans un cadre institutionnel*"[7]. Suite à cet appel, des enseignants volontaires se sont manifestés et c'est finalement les organisateurs de Nano@school qui ont sélectionné avec l'inspectrice d'académie les candidatures à retenir.

5.1.3 Travail avec quatre enseignants dont les classes ont participé aux ateliers Nano@school

Nous avons travaillé avec des classes de première scientifique participant à Nano@school.

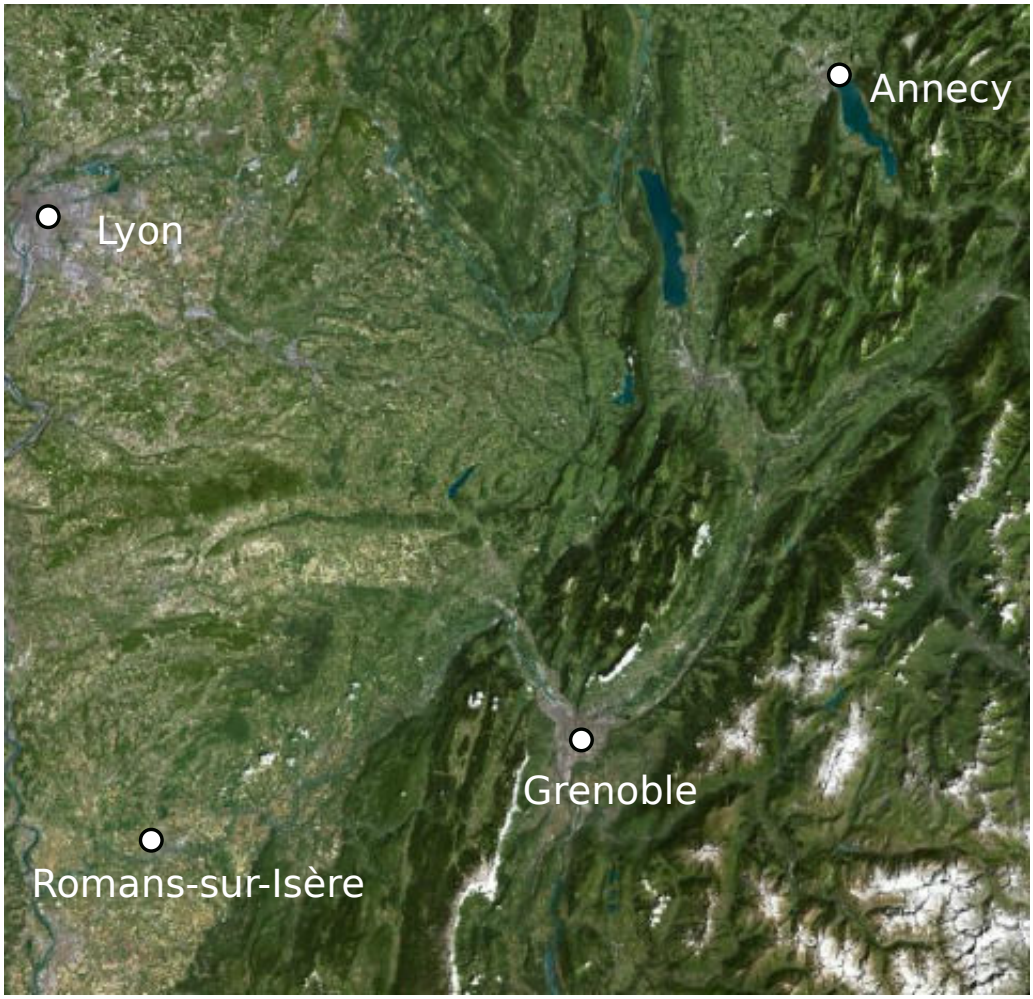
Lors de la première année de mise en œuvre de ces ateliers, nous avons été mise en contact par les organisateurs de ces ateliers avec deux enseignants de sciences physiques : l'un venait d'un lycée de centre ville d'Annecy, ville de taille moyenne (~ 50000 habitants) située entre Genève et Grenoble, et l'autre d'un lycée de Grenoble situé en dehors du centre. Puis, un peu plus tard, vers le mois de mars 2011, nous avons également pris contact avec un enseignant de sciences physiques d'une classe d'un lycée de Romans-sur-Isère (~ 34000 habitants) (Voir figure 5.2). Enfin, lors de l'année scolaire 2011-2012, nous avons de nouveau travaillé avec une enseignante de sciences physiques de ce même lycée ainsi qu'avec sa collègue de français. Dans chacun de ces quatre cas, l'effectif de la classe avoisinait les 30 élèves (34 élèves pour les classes d'Annecy et Grenoble, 31 pour la première classe de Romans et 30 pour la dernière classe de Romans)[8].

C'est au travers des interventions avec ces quatre classes de première S que nous avons progressivement affiné la séquence pédagogique sur les controverses soulevées par les nanotechnologies que nous allons à présent détailler.

Terre ou les sciences de l'ingénieur.

7. http ://www.ac-grenoble.fr/missionsciences/asur.html, consulté le 5 mai 2011

8. Pour le lecteur intéressé, il existe un récit détaillé de la manière dont s'est déroulée notre collaboration avec les enseignants dans chacun de ces quatre cas. Il figure en annexe de la version pdf de ce manuscrit.



Distance Romans - Grenoble : ~55 km à vol d'oiseau ; ~80 km par la route
Distance Annecy - Grenoble : ~85 km à vol d'oiseau ; ~108 km par la route

Population estimée lors du recensement INSEE 2009 :
- Grenoble (commune) : 155632 habitants
- Annecy : 50254 habitants
- Romans sur Isère : 33664 habitants

(Source INSEE : http://www.recensement.insee.fr)

FIGURE 5.2 – Situation géographique d'Annecy, Grenoble et Romans-sur-Isère (Photo aérienne issue du Géoportail de l'IGN)

5.2 Une proposition de séquence pédagogique sur les controverses suscitées par les développements des "nanos"

Selon l'approche du modèle de scolarisation de controverses socioscientifiques proposée par Albe (2007), la séquence pédagogique que nous avons élaborée s'appuie sur l'analyse préalable des controverses présentée au chapitre 4. Cette analyse a sous-tendu nos choix éducatifs et scientifiques. Nous avons ainsi entrepris d'échafauder un ensemble cohérent d'activités avec l'ambition :

- Du point de vue éducatif et dans une perspective d'éducation citoyenne, de permettre à des lycéens de comprendre la diversité des interrogations soulevées par les nanotechnologies, de se confronter à une multiplicité de points de vue, d'en discuter avec leur pairs et enfin de se forger un premier avis informé sur ces questions ;
- Du point de vue de la recherche, de mieux appréhender comment les élèves comprennent et mettent à distance les discours sur les nanotechnologies portés par différents acteurs intéressés par ces développements.

Dans la lignée des recherches "design-based" (Collins *et al.*, 2004), nous avons retravaillé les différentes activités entre chaque intervention afin de les ajuster à nos terrains et afin de tenir compte des résultats de nos analyses intermédiaires qui nous ont permis d'identifier ce qui avait pu éventuellement "ne pas marcher"[9]. La séquence finalement obtenue, dont la trame est présentée dans le tableau 5.1, s'organise autour de trois activités. Deux d'entre elles ont lieu avant la venue des élèves à Nano@school ; la dernière, après cette visite.

5.2.1 Première activité : un jeu de rôle construit à partir de notre analyse des controverses

Construction de l'activité : Le rôle de l'analyse des controverses Comme nous l'avons déjà discuté, nous pensons que, dans une perspective d'éducation pour la citoyenneté, seul un examen de l'ensemble des dimensions de la controverse est de nature à permettre aux élèves de comprendre les débats soulevés par les nanotechnologies tels qu'ils existent en société. La première séance vise donc à permettre aux élèves d'entrevoir la diversité des interrogations et des positionnements relatifs aux développements des nanotechnologies et ce, en un temps relativement court, de l'ordre de la durée d'une séance pour qu'elle soit compatible avec les contraintes du monde scolaire. Elle s'articule autour d'un jeu de rôle permettant aux élèves d'aborder toutes les dimensions de questionnement identifiées dans notre analyse des controverses.

Par ailleurs, dans l'idée de favoriser une appropriation citoyenne des enjeux du développement des nanotechnologies, nous avons choisi de leur mettre entre les mains des textes qui ne sont pas une reconstruction scolaire de l'argumentation des acteurs mais bien des documents tirés directement de l'espace social où se déploie la controverse. En préparation du jeu de rôle, les élèves ont ainsi étudié des cahiers d'acteurs réalisés pour le débat public de la CNDP que nous avons utilisés pour l'élaboration de notre analyse des controverses. L'utilisation de ce matériau issu tout droit d'une mise en forme de la controverse a en effet l'avantage de faire entrevoir aux élèves l'identité d'acteurs qui s'impliquent et agissent réellement sur le développement des nanotechnologies.

Il nous a alors fallu sélectionner parmi les cahiers d'acteurs, les documents que les élèves allaient étudier. L'effectif des classes de lycée avec lesquelles nous avons travaillé comptant un peu plus de 30 élèves, nous en avons sélectionné 11. Ces 11 cahiers d'acteurs devaient permettre de rendre compte :

9. De nouveau, le récit rendant compte de la construction de toutes ces séances et des aménagements apportés au fur à et mesure des mises en œuvre est disponible pour le lecteur intéressé en annexe de la version pdf du manuscrit.

Activité	Étape de l'activité	Durée	Durée totale
Jeu de rôle	Préparation du jeu de rôle par groupe de 3	1H45	4H
	Pause	15 min	
	Jeu de rôle	30 min	
	Retour en petit groupe sur le jeu de rôle	20 min	
	Discussion en classe entière	30 min	
	Conclusion et discussion libre	10 min	
Recherche documentaire	Recherche sur Internet par groupe de 3	1H30	3H
	Pause	15 min	
	Préparation des présentations	15 min	
	Présentations orales	1H15	
Nano@school			1 journée
Séance de synthèse	Travail en petit groupe : - Lecture d'une synthèse des présentations orales des élèves, - Préparation de propositions de modifications à ce texte - Rédaction d'une question à poser lors de la venue d'un physicien au lycée	50 min	1H30
	Discussion	40 min	

Table 5.1 – Trame de la séquence pédagogique sur les controverses soulevées par les nanotechnologies

1. de la diversité des acteurs participant aux débats ;
2. de la diversité de leurs objets de préoccupation et de la multiplicté des positionnements identifiés dans notre analyse des controverses.

Finalement, les documents retenus pour être distribués aux élèves pour ce jeu de rôle ont été les cahiers d'acteurs suivants [10] :

- celui du CNRS et CEA
- celui de l'Institut National de Recherche et Sécurité
- celui de la FEBEA
- celui de l'Association Française Transhumaniste
- celui de la CFE-CGC
- celui de la Commission Nationale Informatique et Libertés
- celui de l'Académie Nationale de Médecine
- celui des Amis de la Terre
- celui du CESE [11]
- celui de la Fondation Sciences Citoyennes
- et enfin celui du Collectif sur les Enjeux des Nanotechnologies à Grenoble.

Déroulement de la séance La séance du jeu de rôle a été, dans chaque classe, organisée en 4 temps.

D'abord les élèves ont préparé le jeu de rôle. Pour cela, ils ont travaillé par groupe de trois (éventuellement par groupe de quatre) pour étudier l'un des 11 cahiers d'acteurs inventoriés plus haut. Guidés par des fiches de lecture (voir en annexe paragraphe 13.3), ils ont dû repérer les thèmes abordés, les prises de positions, les arguments des acteurs ainsi que les recommandations éventuellement formulées. Il leur a aussi été demandé, dans un second temps, de hiérarchiser les thèmes développés en fonction de l'importance que leur accordait l'acteur dans le document. Cette étape de lecture et d'analyse a duré un peu moins de 2H. Les élèves étaient alors prêts pour le jeu de rôle. Dans chaque groupe, l'un des élèves a été désigné pour endosser le rôle de l'acteur dont ils venaient d'étudier la contribution.

La seconde étape s'articule ainsi autour du jeu de rôle et vise à donner à la classe un aperçu de la controverse le plus riche possible en cohérence avec notre enjeu éducatif qui consiste à outiller les élèves pour s'emparer des controverses soulevées par les nanotechnologies. Les élèves-acteurs se sont positionnés en hémicycle (comme illustré sur la figure 5.3) et ont dû intervenir dans un débat orchestré par l'encadrant pour exprimer ce que l'organisation qu'ils représentaient pensait des développements des nanotechnologies. Il leur a été bien précisé que ce que l'on attendait d'eux était une restitution des prises de position et des arguments de l'acteur dont ils jouaient le rôle et qu'il n'était pas question, à ce moment de la séance, d'exprimer leur opinion. Pour proposer à la classe un premier aperçu de la controverse le plus riche possible, le/la gestionnaire de débat a alors essayé de faire expliciter du mieux possible aux élèves-acteurs leurs arguments et de les faire balayer l'intégralité des thèmes mentionnés dans leurs cahiers d'acteurs. Par ailleurs, pendant que ces 11 élèves discutaient, le reste de la classe observait. Dans chaque groupe de trois, deux observateurs ont ainsi suivi l'acteur portant le message du cahier qu'ils avaient étudié en prenant des notes.

Cette phase de jeu de rôle qui du point de vue éducatif, sert à donner à voir aux élèves les différentes facettes de la controverse, dure environ 30 minutes.

Suite à cette discussion, une troisième étape doit permettre aux élèves de prendre du recul par rapport au contenu du jeu de rôle. Les élèves reforment alors les même petits groupes que lors de la préparation du jeu de rôle. Ils reviennent sur le contenu de cette confrontation entre les argumentaires des différents acteurs. Il leur est également demandé de résumer en

10. Les raisons justifiant ces choix dans le détail sont présentés en annexe de ce texte (paragraphe 13.4).
11. Finalement, comme dans chaque classe il y a eu des absents, ce cahier n'a jamais été proposé aux élèves.

FIGURE 5.3 – Jeu de rôle - 10 mai 2011

une phrase le ou les point(s) clé(s) du texte qu'ils ont étudié et ce qu'ils pensent de leur cahier d'acteurs.

Enfin, une dernière phase de l'activité est conçue pour permettre aux élèves, dans une perspective d'éducation citoyenne, de formaliser un premier avis argumenté sur les questionnements abordés dans le jeu de rôle et de prendre de la distance par rapport aux différents discours des acteurs de la controverse. Suite aux discussions en petits groupes, toute la classe se rassemble ainsi dans une salle. Les phrases résumant les points importants des cahiers d'acteurs sont notées et projetées au tableau. Les élèves votent alors individuellement pour dire le ou lesquels de ces positionnements leur semble le(s) plus important(s). Il s'ensuit un temps de discussion où le gestionnaire du débat oriente les échanges de manière à faire discuter les élèves autour des trois questions suivantes :

- Peuvent-ils expliciter les raisons de leur vote ?
- Qu'ont-il pensé du contenu du cahier d'acteurs qu'ils ont étudié et pourquoi ?
- Qu'ont-il pensé du contenu des échanges lors du jeu de rôle ?

Dans une perspective d'éducation citoyenne, cette dernière phase de l'activité est ainsi conçue pour permettre aux élèves de formaliser un premier avis argumenté sur les questionnements abordés dans le jeu de rôle. Elle doit aussi les inciter à prendre de la distance par rapport aux différents discours des acteurs de la controverse en confrontant leurs points de vue et arguments à ceux des autres.

Mises en œuvre et raffinement de l'activité Cette activité a été mise en œuvre avec toutes les classes avec lesquelles nous avons travaillé et d'abord avec la classe de Grenoble. Cette première intervention a été conçue comme un test pour éprouver la robustesse de cette première activité de la séquence. Du point de vue de la construction de la séquence pédagogique et de sa mise en musique, elle nous a permis de mettre en évidence trois choses [12].

D'abord nous avons noté que le jeu de rôle n'avait donné qu'une vision lacunaire du paysage des thématiques abordées et des prises de position adoptées car les élèves ont eu tendance à se focaliser essentiellement sur les questions sanitaires et environnementale, sur les applications en médecine et sur les problèmes d'information des citoyens. Cette réduction des débats s'est ensuite retrouvée et même renforcée dans la discussion suivant le jeu de rôle. Par conséquent, en cohérence avec l'approche des recherches *design-based* et avec notre objectif de permettre aux élèves d'appréhender l'ensemble de la controverse, nous avons opéré des modifications à l'activités. Pour les mises en œuvre suivantes, nous avons réfléchi à la manière de mieux conduire les discussions pour amener les élèves à explorer à l'oral la diversité des thèmes abordés dans leur cahier. Lors des jeux de rôle qui ont suivi, nous avons ainsi incité explicitement certains acteurs ayant tendance à passer sous silence certains thèmes développés

12. Une analyse détaillée des données recueillies lors de cette séance est fournie en annexe.

dans leur document, à intervenir sur les dimensions qu'ils laissaient en retrait [13].

Ensuite, nous avions noté que plusieurs élèves avaient, lors du jeu de rôle, avancé des éléments absents de leur cahiers d'acteurs, ou bien qu'ils en avaient déformé le contenu. Nous avons alors revu les consignes de préparation du jeu de rôle et de lancement des discussions pour éviter ce genre de dérapage. Nous avons notamment mieux insisté sur l'importance de l'étape de lecture du cahier d'acteurs en début de séance.

Enfin, lors de la discussion finale de la première mise en œuvre du jeu de rôle avec les lycéens grenoblois, il nous a semblé que les élèves étaient demandeurs de contenus leur permettant de mieux comprendre ce que sont les nanotechnologies et les questions que ces réalisations posent. Nous avons alors construit une activité faisant suite au jeu de rôle et centrée sur une recherche documentaire permettant de répondre à cette demande

5.2.2 Deuxième activité : une recherche documentaire sur les différentes dimensions de la controverse

Toujours dans l'idée de permettre aux élèves d'appréhender la controverse dans toute sa complexité, cette seconde activité a été conçue pour permettre aux élèves d'organiser et de raffiner l'aperçu de la controverse ébauché lors du jeu de rôle.

Construction de l'activité : Le rôle de l'analyse des controverses Il nous semblait impossible de faire travailler dans un temps raisonnable tous les élèves sur toutes les dimensions de questionnements soulevés par les nanotechnologies. Or nous voulions qu'ils soient de nouveau amenés à considérer l'ensemble des questions identifiées dans notre analyse préliminaire des controverses. Par conséquent, la solution que nous avons retenue a consisté à tenter de "tirer partie du groupe". En d'autres termes, nous avons scindé la classe en petits groupes de 3 ou 4 élèves (les mêmes que lors de la préparation du jeu de rôle) et chacun des groupes s'est consacré à l'une des cinq dimensions de questionnement distinguées dans notre analyse des controverses.

Par ailleurs, partant du principe qu'une éducation aux sciences pour la citoyenneté doit outiller les élèves à se documenter par eux-mêmes de manière réfléchie et critique, les recherches que les élèves ont effectué sur Internet étaient "libres", au sens où nous ne leur imposions pas de naviguer sur des sites prédéfinis. Le guidage des élèves ne s'est effectué que par la demande systématique d'évaluer les sources utilisées et par une série de questions répertoriées dans le tableau 5.2 [14]. Les élèves ont ainsi été confrontés à une multiplicité de discours d'acteurs réels, et il leur revenait de décider lesquels retenir pour forger leur aperçu de la controverse.

Enfin pour permettre aux élèves d'avoir une vue globale des réponses apportées à toutes ces questions, l'activité s'est achevée à chaque fois par un ensemble de présentations orales, où chaque groupe présentait au reste de la classe le fruit de sa recherche documentaire.

Déroulement de l'activité (telle que mise en œuvre lors de la dernière intervention) L'activité de recherche documentaire s'articule donc autour de trois temps forts :

- le premier est consacré à la recherche documentaire proprement dite par petit groupe ainsi qu'à l'exploitation des documents retenus par les élèves (1H30 minimum) ;
- le second à la préparation des interventions orales (20 min) ;
- enfin la dernière partie de la séance est dédiée aux présentations des différents groupes (1H10, soit environ 7 minutes par groupe).

Lors des présentations, nous avons décidé d'imposer aux élèves de se partager les rôles afin que tous participent à la restitution orale de leurs résultats de recherches. Sur le plan éducatif,

13. Ceci nécessite pour l'encadrant du jeu de rôle d'avoir une très bonne connaissance du contenu des cahiers d'acteurs pour solliciter les élèves à bon escient.

14. La version des questions présentée ici est la version la plus récente de ces questions, celle qui a été proposée à la deuxième classe avec laquelle nous avons travaillé à Romans.

Dimension	Question 1	Question 2	Question 3
Aspects sanitaires et environnementaux	Qu'est-ce qu'une nanoparticule ? un nanomatériau ?	Que sait-on des risques sanitaires et environnementaux liés à l'utilisation des nanoparticules et des nanomatériaux ?	Quelles sont les réglementations existantes encadrant l'utilisation et la commercialisation de produits contenant des nanoparticules ?
Utilisations en médecine	Quelles sont les perspectives ouvertes par l'utilisation des nanotechnologies en médecine ?	Qu'est-ce que la NBIC ?	Quelles sont les interrogations suscitées par les différentes utilisations des nanotechnologies en médecine ?
Protection des libertés	Qu'est-ce qu'un RFID et quel rapport y a-t-il entre les RFID et les nanotechnologies ?	Pourquoi certains acteurs critiquent-ils l'utilisation de dispositifs d'identification ou de recueil d'information miniaturisés ?	Quelles sont les questions que pose l'utilisation des RFID en matière de protection des données transmises ?
Gestion démocratique des développements technoscientifiques	Quels sont les arguments en faveur de la démocratisation des choix scientifiques et technologiques en matière de nanotechnologies ?	Quels sont les défis que posent les nanotechnologies à nos démocraties ?	Quelles sont les critiques formulées à l'encontre des procédures de consultation des citoyens qui ont été mises en place jusqu'à aujourd'hui sur les nanotechnologies ?
Interactions entre enjeux économiques et sociaux et développements technoscientifiques	Quels sont les secteurs industriels concernés ?	Quelles sont les retombées attendues des nanotechnologies en matière économique et sociale ?	Quelles sont les questions posées par les nanotechnologies en matière économique et sociale ?

TABLE 5.2 – Questions guidant les recherches documentaires des différents groupes, sur chacune des dimensions de la controverse.

cette consigne était motivée par la volonté d'inciter les élèves à s'engager dans l'activité pour ensuite formaliser une opinion qui soit informée. L'objectif n'était donc pas que seuls les élèves les plus à l'aise à l'oral ne s'expriment, mais que chaque groupe de 3 élèves soit collectivement responsable de ce qu'ils énonceraient à l'oral.

Au moment des présentations, chaque groupe a présenté les documents sélectionnés et les réponses qu'ils avaient apportées aux différentes questions. Puis, dans perspective d'éducation citoyenne poussant les élèves à interroger les discours qu'ils rencontrent pour se positionner de manière informée et réfléchie, nous leur avons demandé d'expliciter l'opinion du groupe sur la thématique qu'ils avaient étudiée.

Ces présentations ont ainsi permis à chaque élève d'avoir une vue globale de l'aperçu élaboré par la classe des controverses soulevées par les nanotechnologies. Du point de vue recherche, elles nous ont permis de documenter la compréhension de ces controverses par les élèves mais aussi leur prise de distance par rapport aux arguments des acteurs qu'ils ont restitués à l'oral.

Mises en œuvre et raffinement de l'activité Cette activité de recherche documentaire a été mise en place dans trois classes : celle d'Annecy et celles de Romans. Dans le cas de notre première intervention à Romans, cette recherche documentaire a eu lieu lors de la venue de la classe à Nano@school à la place de l'un des ateliers de cette journée.

Lors de la première séance à Annecy, nous avons, suite à des problèmes matériels d'imprimantes, dû terminer les présentations des élèves lors d'une autre heure de cours. Nous avons donc, les fois suivantes, mieux tenu la montre pour éviter ce genre de tracas. Par ailleurs, lors de la dernière mise en œuvre de l'activité, les élèves n'ont rien imprimé, mais ont exploité leurs documents directement à l'écran.

Enfin, nous avons raffiné la formulation des questions posées aux élèves entre les deux mises en œuvre dans les classes du lycée de Romans-sur-Isère. Ces modifications ont été effectuées de manière à remédier aux difficultés que les élèves avaient pu rencontrer lors des séances précédentes pour apporter des éléments de réponse à certaines questions.

Suite à cette activité de recherche documentaire (ou bien parallèlement pour le cas de la première classe du lycée de Romans), les élèves se sont ensuite rendus à Grenoble pour prendre part aux ateliers Nano@school. Puis, de retour en classe, nous leur avons proposé une dernière activité de synthèse.

5.2.3 Troisième activité : une séance de synthèse

L'enjeu essentiel de cette séance était de donner l'opportunité aux élèves de discuter et de se positionner sur les questionnements que soulèvent les nanotechnologies, en produisant un cahier d'acteurs analogue à ceux du débat public de la CNDP. Pour favoriser l'appropriation par les élèves des enjeux des nanotechnologies, nous avons fait le choix de les placer dans le rôle d'acteurs capables de formuler un point de vue documenté et argumenté sur la controverse.

Construction de l'activité Pour favoriser cette discussion et aboutir à un cahier d'acteurs en un temps limité, ce document a été produit à partir d'un texte synthétisant le contenu de leurs présentations orales effectuées suite à leurs recherches documentaires. Cette dernière séance a donc été l'occasion pour les élèves de revenir sur l'aperçu des controverses proposé au travers des présentations, d'exprimer leur opinion sur les dimensions qu'ils n'avaient pas explorées et d'amender ce document de synthèse. Au terme de cette activité, cette synthèse du contenu des présentations a été mise sous forme d'un "cahier d'acteurs" de la classe analogue à ceux de la CNDP et publiée sur le site Internet du lycée.

Cette séance a par ailleurs été modifiée, pour la seconde intervention à Romans pour permettre aux élèves d'intervenir lors d'une "conférence" sur les nanotechnologies donnée au lycée par un physicien, Joël Chevrier [15].

Déroulement de la séance Cette séance de synthèse n'a pu être mise en place que dans les deux classes de Romans [16]. Lors de la première mise en œuvre de cette activité, les élèves ont d'abord réfléchi individuellement aux modifications à apporter à la synthèse, mise d'emblée sous forme d'un cahier d'acteurs. Ce temps de lecture et de réflexion a duré un peu plus d'une demi-heure. Il s'en est suivi une discussion qui a duré plus d'une heure.

La deuxième mise en application de cette activité s'est déroulée différemment. En effet, l'enseignante avec qui nous travaillions, avait invité l'un des physiciens partie prenante du programme Nano@school à venir au lycée pour donner une conférence devant l'ensemble des premières S. En accord avec l'enseignante et le conférencier, nous avons alors décidé de faire jouer un rôle actif dans cette "conférence" aux élèves qui avaient travaillé avec nous. Lors de la dernière séance, ils devaient donc non seulement discuter d'un cahier d'acteurs de la classe mais aussi préparer des questions pour échanger avec le conférencier.

Lors de cette activité de synthèse, les élèves ont commencé par lire le document récapitulant le contenu de leurs présentations. Ils ont ensuite réfléchi par petits groupes de 3 (les mêmes que lors des séances précédentes) aux modifications à apporter à ce document et surtout à la formulation d'une question sur ce qui leur semblait le plus important dans les débats soulevés par les nanotechnologies. Cette phase de préparation a duré 1H. La séance s'est ensuite poursuivie par une discussion en classe entière où les élèves ont d'abord discuté brièvement des modifications à apporter au texte de synthèse puis ils ont examiné les questions que chaque groupe avait proposées. Les élèves ont alors regroupé celles portant sur des thématiques identiques ou proches. Enfin, ils ont délibéré pour définir un ordre dans lequel poser ces questions au conférencier lors de sa venue au lycée. Cette partie de la séance de discussion en classe entière a duré en tout 40 minutes.

Mise en œuvre et pistes de modification Lors de cette seconde mise en œuvre, il s'est avéré que le temps alloué à la discussion était trop serré pour vraiment atteindre notre objectif de permettre aux élèves d'avoir une discussion en profondeur sur les questionnements soulevés par les nanotechnologies. Du fait des contraintes horaires, nous avons en effet été amenés à devoir "avancer vite" pour boucler la séance avant la fin de l'heure, sans pouvoir inciter les élèves à expliciter leurs positionnements autant que nous l'aurions voulu. Si cette activité devait être mise en œuvre une nouvelle fois, il nous semble donc qu'il faudrait dégager davantage de temps pour la partie discussion.

Cette dernière mise en œuvre de la séquence pédagogique dans la classe de Romans a néanmoins débouché sur la formulation de six questions que les élèves souhaitaient adresser au physicien qui viendrait au lycée. En concertation avec l'enseignante de sciences physiques, nous avons alors organisé une dernière séance en classe, bien plus tard dans l'année et juste avant "la conférence", pour que les élèves puissent se rafraîchir la mémoire et préparer leurs interventions.

5.2.4 Présentation du contenu du cahier d'acteurs lors d'une "conférence"

Nous disposions d'une heure pour permettre aux élèves de préparer leurs interventions. Par ailleurs, en accord avec l'enseignante et Joël Chevrier, le physicien invité au lycée, nous avions convenu que, lors de la conférence, les élèves seraient orateurs au même titre que le physicien

15. Joël Chevrier est l'un des chercheurs qui a co-encadré ce travail de thèse. Il est aussi l'un des artisans du programme Nano@school.

16. Pour plus de détail, voir le récit déjà mentionné retraçant l'élaboration de cette séquence pédagogique.

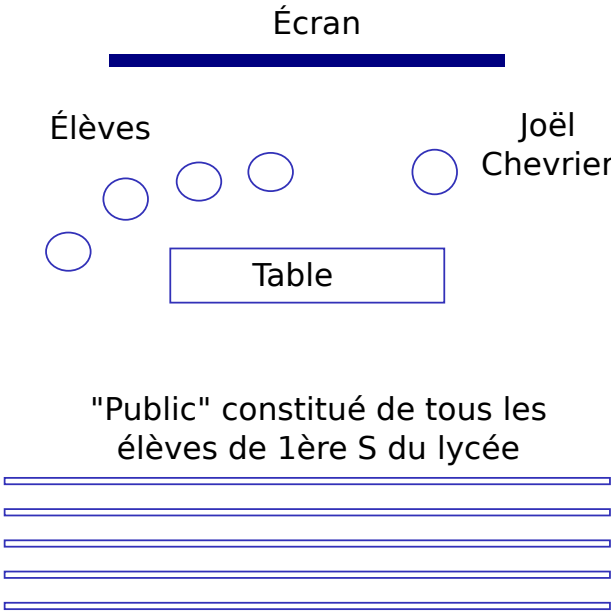


FIGURE 5.4 – Agencement de la salle pour la “conférence”

(L’organisation de la salle est illustrée figure 5.4). Ils prendraient la parole les premiers pour présenter leurs travaux et leurs points de vue, puis que le conférencier rebondirait ensuite sur leurs propos.

Pour cette séance de préparation de la “conférence”, nous avons donc choisi :

- de proposer aux élèves de s’adosser au maximum sur le contenu cahier d’acteurs de la classe pour préparer leurs interventions [17] ;

- de leur fournir des supports sous forme de diapositives qu’ils pouvaient modifier, pour qu’en une heure ils aient déjà une idée précise de ce qu’ils diraient lors de la conférence ;

- de limiter le nombre des thématiques discutées avec le conférencier à trois car la conférence ne durerait qu’une heure.

La classe a donc été scindée en 4 groupes. Pendant toute l’heure, le premier a préparé une intervention servant à présenter brièvement les activités auxquelles les élèves avaient participé et surtout à présenter le contenu du cahier d’acteurs de la classe.

Le second groupe a préparé une intervention de 5-10 minutes présentant le contenu du cahier d’acteurs de la classe sur le thème des questions sanitaires et environnementales.

Le troisième s’est consacré à préparer un petit discours sur certains enjeux économiques et démocratiques du développement des nanotechnologies discutés dans leur cahier.

Enfin le reste des élèves a préparé une intervention pour présenter le contenu du cahier sur les questions de protection des libertés.

Finalement, dans chacun des groupes, un ou deux intervenants se sont proposés et à la fin de l’heure, les élèves avaient une trame prête pour leur intervention qui a eu lieu 4 jours plus tard, devant le reste des premières S du lycée.

Cette présentation synthétique de la séquence pédagogique mise en place dans quatre classes de première S n’entre pas dans le détail les différentes étapes de son élaboration. Elle a cependant été construite et raffinée progressivement. Ainsi, dans la lignée des recherches *design-based*, nous avons retravaillé les différentes activités entre chaque intervention. Par

17. L’enseignante leur avait expressément demandé de se replonger dans la lecture du cahier d’acteurs avant cette séance.

ailleurs ces différentes séances ont été l'occasion de recueil de données. Dans ce qui suit, nous allons passer en revue le matériau que nous avons collecté mais auparavant, nous voudrions dire quelques mots de la manière dont ont été encadrées ces séances.

5.3 Encadrement des séances et posture personnelle

Nous avons encadré les différentes activités qui vont faire l'objet de nos analyses avec l'appui des enseignants et des enseignantes qui ont accepté de collaborer avec nous. Nous souhaiterions expliciter ici les raisons qui ont nous conduits à prendre en charge cet encadrement et clarifier notre posture d'intervenante et d'analyste.

5.3.1 Un encadrement que nous avons assuré

Cette décision d'encadrer les différentes séances proposées aux élèves a été prise en accord avec les enseignants avec qui nous avons collaboré pour plusieurs raisons.

D'abord nous avons été mis en contact avec les deux premiers enseignants avec qui nous avons travaillé par l'intermédiaire de l'inspectrice d'académie participant à la mise sur pied de Nano@school. Ces enseignants nous ont très bien accueillis et nous ont fourni toute l'aide nécessaire pour pouvoir mettre en place des activités dans leurs classes dans de bonnes conditions. Toutefois, nous n'avons pas pu co-construire les différentes séances avec eux, même s'ils ont accepté de nous apporter leur éclairage sur ce que nous proposions. Dans ces classes, les enseignants nous ont ainsi délégué l'encadrement des différentes séances tout en étant présents le jour de leur mise en œuvre et en nous fournissant un soutien matériel pour l'organisation de ces séances.

Ensuite, lors de la troisième intervention, la première au lycée de Romans, tout s'est décidé relativement tard dans l'année. Nous avons échangé pour la première fois avec l'enseignant en mars 2011 pour organiser les séances en classe courant mai. Le temps imparti nous semblait alors extrêmement court pour pouvoir tisser avec lui une réelle collaboration et lui laisser le temps de discuter et d'aménager les activités que nous avions déjà construites. Ainsi, du fait cette fois de contraintes d'emploi du temps, nous avons de nouveau assumé l'encadrement des séances sur les nanotechnologies organisées dans sa classe.

Enfin, la dernière collaboration avec une enseignante de sciences physiques du lycée de Romans a été beaucoup plus étroite. Nous avons pris contact avec elle dès les vacances d'été 2011 et avons discuté en détail des différentes activités. Cette enseignante a de plus associé ses collègues de français et de sciences de la vie et de la Terre au projet. Toutefois, concernant l'encadrement des séances, il lui a semblé que nous avions plus de recul qu'elles pour encadrer ce genre d'activité et que ce serait sans doute mieux si nous nous en chargions. Nous avons donc à nouveau encadré les différentes séances. L'enseignante de sciences physiques était néanmoins présente à chaque séance. Elle nous a apporté une aide matérielle pour l'organisation des activités et nous a aussi ponctuellement épaulée pour gérer la discussion lors de la dernière séance.

5.3.2 Posture pour la modération des débats et conséquences pour l'analyse

Les activités que nous avons eu à orchestrer comprenaient un certain nombre de discussions et de situations interactives. La question de notre posture pour gérer les différentes activités s'est donc posée.

Dans son modèle de scolarisation des controverses, Albe (2007) pose la posture adoptée par l'enseignant comme une variable de l'étude du contrat didactique lors de l'étude en classe de controverse. Elle propose aux enseignants souhaitant engager leurs élèves dans l'étude d'une controverse d'adopter une posture d'engagement critique. Toutefois, pour ce qui nous

concerne, nous n'avons pas adopté ce type de posture pour ne pas biaiser notre recherche. Notre objectif étant de sonder comment les élèves s'appropriaient les différentes facettes de la controverse, nous avons adopté une posture de neutralité axiologique, de manière à ne pas fausser nos recueils de données. Lors des séances en classe, nous n'avons donc pas explicité verbalement notre point de vue sur les différentes dimensions des controverses soulevées par le développement des nanotechnologies. Les élèves ne nous l'ont d'ailleurs pas demandé. Ainsi, bien que la conception de notre dispositif amène les élèves à se confronter à des discours contradictoires et soit marquée par l'importance que nous accordons à la participation citoyenne aux choix scientifiques et techniques, nous n'avons pas adopté de posture d'engagement critique pour notre encadrement.

En outre, la manière de gérer les échanges verbaux a son importance pour permettre l'exploration de la controverse. Dans une étude empirique où des étudiants de 16 ans discutent de problèmes éthiques soulevés par les maladies héréditaires, Levinson (2004) a montré notamment que l'enseignante avait tendance au travers de ses interventions à restreindre la dimension éthique de la discussion. Cette recherche souligne les difficultés d'ordre pédagogique pour mener des discussions sur des questions éthiques.

Tout en étant consciente de ces difficultés, nous avons néanmoins modéré les différents débats. Nous avions parfois du mal à nous déprendre de réflexes verbaux à connotation évaluative ("D'accord", "effectivement"...). Nous avons alors tenté d'améliorer notre pratique pour encourager les élèves à l'explicitation plutôt que de fermer le débat par des locutions adverbiales qui insidieusement nous plaçaient dans une posture surplombante d'experte distribuant les bons et les mauvais points.

Enfin, le fait que nous ayons nous-mêmes encadré les différentes séances nous a conduit à endosser un double rôle : celui d'intervenante, faisant partie intégrante du dispositif étudié ; celui d'analyste qui procède à l'examen des données. Il nous semble cependant que cette "double-casquette" n'est pas ici problématique dans la mesure où notre recherche se focalise sur l'appropriation *par les élèves* des controverses soulevées par les nanotechnologies. Au moment d'analyser nos données, nous garderons néanmoins en tête que le contrat didactique est peut-être différent de celui qui aurait pu être négocié dans ces activités, si la discussion avait été menée par les enseignants.

5.4 Données recueillies

Nous avons travaillé avec quatre classes et lors de chacune de nos interventions, nous avons collecté des données. Le paragraphe suivant est consacré à la description des données recueillies, à l'exposé des méthodes de recueil et de traitements que les données ont subis pour être mises en forme avant d'être exploitées.

5.4.1 Nature des données et méthodes de recueil

Les données que nous avons recueillies sont répertoriées dans les tableaux 5.3 et 5.4.r

Ville	Date	Activité	Données recueillies
Grenoble	26/01/2011	Jeu de rôle	Fiches remplies par les élèves en préparation : - du jeu de rôle - de la discussion post jeu de rôle
			Enregistrements audio des discussions en groupes : - avant le jeu de rôle (~ 1H30 * 8) - après le jeu de rôle (~ 20 min * 8)
			Films : - jeu de rôle (~ 35 min) - vote et discussion post jeu de rôle (~ 40 min)
Annecy	08/04/2011	Jeu de rôle	Fiches remplies par les élèves en préparation : - du jeu de rôle - de la discussion post jeu de rôle
			Enregistrements audio des discussions en groupes : - avant le jeu de rôle (~ 1H30 * 8) - après le jeu de rôle (~ 20 min * 8)
			Films : - jeu de rôle (~ 35 min) - vote et discussion post jeu de rôle (~ 40 min)
	14/04/2011 et 18/04/2011	Recherches documentaires	Documents recueillis par les élèves
			Fiches remplies par les élèves - d'évaluation des sources - d'exploitation des documents - de préparation des présentations
			Enregistrement audio des discussions en groupes (~ 1H40 * 8)
			Film des présentations (~ 1H15)
Romans	10/05/2011	Jeu de rôle	Fiches remplies par les élèves en préparation : - du jeu de rôle - de la discussion post jeu de rôle
			Enregistrements audio des discussions en groupes : - avant le jeu de rôle (~ 1H30 * 9) - après le jeu de rôle (~ 20 min * 9)
			Films : - jeu de rôle (~ 35 min) - vote et discussion post jeu de rôle (~ 40 min)
	12/05/2011	Recherches documentaires	Documents recueillis par les élèves
			Fiches remplies par les élèves - d'évaluation des sources - d'exploitation des documents - de préparation des présentations
			Enregistrement audio des discussions en groupes (~ 40 min * 6 + 1H10 * 4)
			Film des présentations (~ 1H15)
	07/06/2011	Discussion du cahier d'acteurs	Fiches remplies par les élèves
			Film de la discussion en classe entière (~ 1H)

Table 5.3 – Données recueillies lors de l'année scolaire 2010-2011

Ville	Date	Activité	Données recueillies
Romans	26/01/2012	Jeu de rôle	Fiches remplies par les élèves en préparation : - du jeu de rôle - de la discussion post jeu de rôle
			Enregistrements audio des discussions en groupes : - avant le jeu de rôle (~ 1H30 * 8) - après le jeu de rôle (~ 20 min * 8)
			Films : - jeu de rôle (~ 35 min) - vote et discussion post jeu de rôle (~ 40 min)
	31/01/2012	Recherches documentaires	Documents recueillis par les élèves
			Fiches remplies par les élèves : - d'évaluation des sources - d'exploitation des documents - de préparation des présentations
			Enregistrement audio des discussions en groupes (~ 1H15 * 8)
			Film des présentations orales des élèves (~ 1H15)
	03/02/2012	Nano@school	Observations
	06/02/2012	Discussion pour réaliser un cahier d'acteurs et préparation de questions	Fiches remplies par les élèves (9)
			Enregistrements audio des discussions en groupes (~ 45 min * 9)
			Film de la discussion en classe entière (~ 40 min)
	10/05/2012	Préparation des interventions devant les autres classes	-
	14/05/2012	"Conférence"	Film (2 * ~ 50 min)

Table 5.4 – Données recueillies lors de l'année scolaire 2011-2012

Jeu de rôle Lors de l'activité de jeu de rôle, toutes les fiches d'exploitation des cahiers d'acteurs remplies par les élèves en préparation du jeu de rôle et celles complétées en petit groupe après ce débat ont été recueillies.

Le jeu de rôle et la discussion en classe entière ont été filmés. À chaque fois deux caméras fixes servaient à filmer la séance [18]. Leur disposition est donnée sur la figure 5.5.

Par ailleurs, toutes les discussions en petits groupes ont été enregistrées. Pour cela nous avons utilisé des enregistreurs posés sur les tables où travaillaient les élèves. Ils avaient pour consigne de ne pas y toucher une fois mis en marche.

18. Pour chaque séance, une personne est venue nous prêter main forte pour filmer les séances de jeu de rôle. Le caméraman (non professionel) se mettait alors derrière l'une des caméras et zoomait sur les personnes prenant la parole lors des différentes discussions.

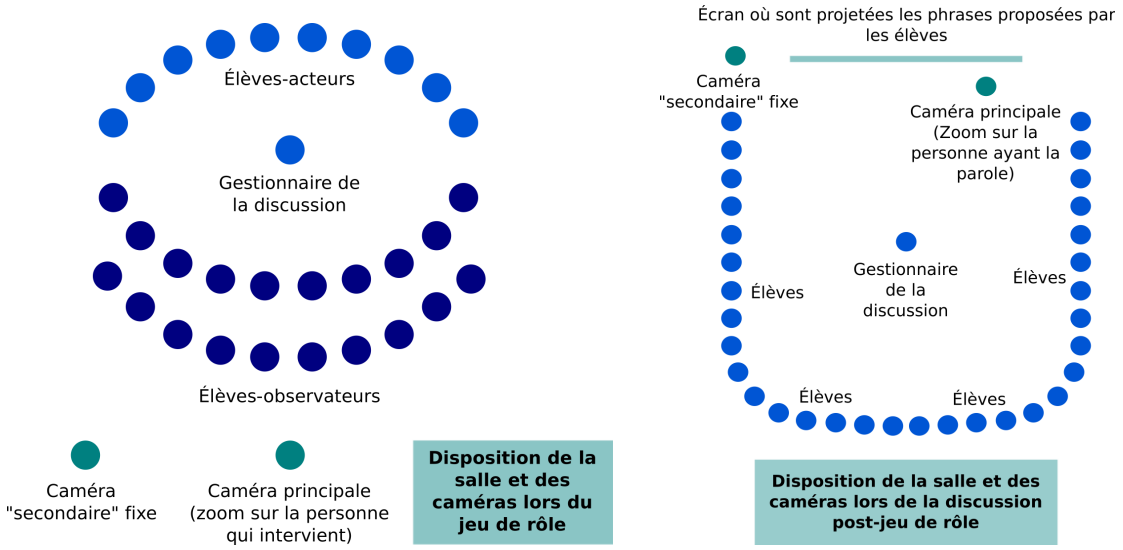


FIGURE 5.5 – Disposition de la salle lors de la première séance

Suite à quelques problèmes techniques, nous avons malheureusement perdu certains enregistrements. Ainsi, une partie de la discussion post-jeu de rôle n'a pas été enregistrée lors de la première intervention à Romans.

Nous avons aussi perdu certains enregistrements audio (2 groupes sur les 10 à Grenoble et à Annecy et 1 sur les 9 lors de la deuxième mise en œuvre à Romans).

Recherches documentaires Lors des séances de recherches documentaires, nous avons recueilli tous les documents retenus par les élèves ainsi que les différentes fiches qu'ils ont remplies au cours de leurs recherches. Pour chaque document sélectionné, il leur était en effet demandé de remplir une fiche d'évaluation de leur source et une fiche d'exploitation du document.

Les conversations des élèves ont par ailleurs été enregistrées lorsqu'ils étaient en train de naviguer sur Internet. Là encore pour chaque groupe un enregistreur a été posé devant les élèves et il leur a été demandé de ne pas y toucher pendant l'activité.

Suite à ces recherches, les élèves ont ensuite préparé des présentations orales. Ils ont alors noté sur une autre fiche, également collectée, ce qu'ils pensaient de la thématique qu'ils avaient étudiée et leurs conversations en petits groupes ont aussi donné lieu à des enregistrements.

Enfin, la séance s'est achevée par les exposés devant le reste de la classe de chacun des groupes. Chacune de ces interventions a été filmée. Nous avons, comme pour le jeu de rôle, utilisé deux caméras fixes pour filmer leurs présentations (voir figure 5.6).

De nouveau, notre corpus a subi quelques pertes de données. Il manque une ou deux minutes dans l'enregistrement de l'intervention d'un des groupes d'élèves lors de la dernière mise en œuvre de la séquence en février 2012. Par ailleurs lors de la première intervention avec une classe du lycée de Romans en mai 2011, nous avons perdu cinq enregistrements correspondant aux discussions de préparation des présentations des élèves.

Séance de synthèse et de discussion d'un cahier d'acteurs de la classe Enfin, lors de la dernière activité nous avons relevé toutes les fiches remplies en petits groupes par les élèves et nous avons filmé la discussion en classe entière.

De nouveau, nous avons utilisé deux caméras fixes pour filmer les échanges. La disposition de la salle était la même que lors de la discussion post jeu de rôle (voir figure5.5).

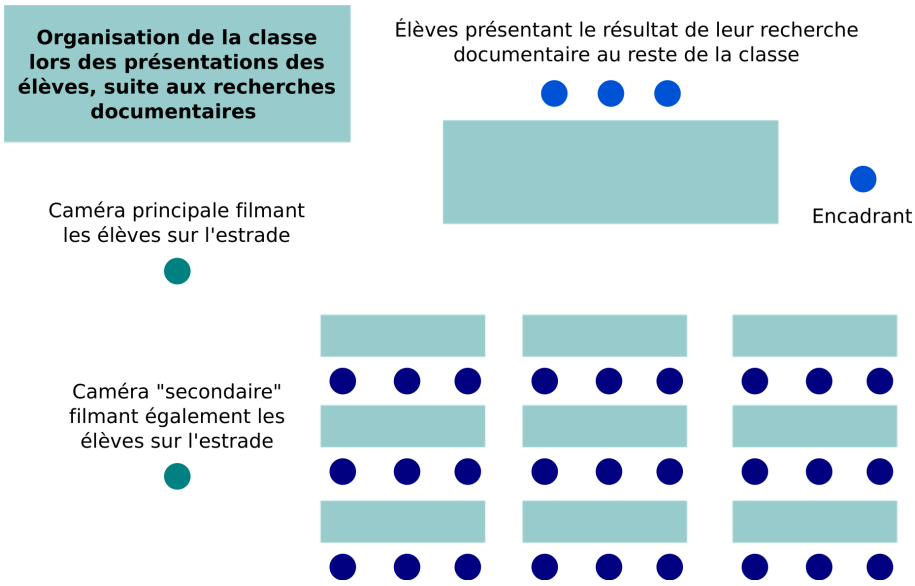


FIGURE 5.6 – Disposition de la salle et emplacement des caméras lors de la recherche documentaire

Par ailleurs, nous avons, lors de la dernière mise en œuvre de la séquence, enregistré les discussions par petits groupes qui ont eu lieu en amont des échanges en classe entière, à l'aide d'enregistreurs audio placés sur les tables où travaillaient les élèves.

5.4.2 Traitement des données

Toutes les discussions en classe entière qui ont été filmées ont été intégralement retranscrites (soit 8 films pour les activités de jeu de rôle et 2 films des discussions lors des séances portant sur le cahier d'acteurs de la classe). Les prénoms des élèves ont alors été modifiés, de manière à préserver leur anonymat [19].

Nous avons également transcrit les présentations orales réalisées par les élèves lors des séances de recherches documentaires (soit environ 3 fois 1H15 d'enregistrement).

Lors de ces transcriptions, nous nous sommes concentrés sur le contenu des prises de paroles des élèves. Nous avons néanmoins donné certaines indications sur le langage paraverbal du locuteur (sourire, moue gênée...), ou de l'assistance (rire de l'assemblée, brouhaha...).

En revanche faute de temps et du fait de la mauvaise qualité sonore de beaucoup des enregistrements audio que nous avions collectés, nous n'en avons retranscrit qu'un seul. Ce type d'enregistrement était assez difficile à exploiter d'une part à cause du bruit de fond parasite et d'autre part parce qu'on ne sait pas toujours bien qui parle dans le groupe d'élèves.

Aussi étant donné la richesse du matériau dont nous disposions déjà, nous avons choisi de laisser ces enregistrements temporairement de côté, quitte à les ré-utiliser dans un second temps pour éclairer certains propos des élèves.

Enfin, toutes les fiches remplies par les élèves ont été classées. Nous ne les avons pas numérisées, mais lors de l'exploitation, nous avons retranscrit le plus fidèlement possible les écrits des élèves sans en modifier l'orthographe, sans expliciter les abréviations et en laissant apparaître les ratures.

19. Les prénoms féminins ont été changés en prénoms féminins et les masculins, remplacés par des prénoms masculins.

Nous avions donc à notre disposition un corpus complexe et conséquent au moment d'entamer notre analyse des données. Nous avons donc dû faire des choix.

5.4.3 Corpus analysé

Parmi toutes les séances qui ont occasionné des recueils de données, nous avons décidé de nous concentrer sur la première mise en œuvre du jeu de rôle avec la classe du lycée de Grenoble et sur la dernière implémentation de la séquence pédagogique que nous avons construite, avec l'une des classes du lycée de Romans-sur-Isère.

Ce choix d'analyser en détail la première séance de jeu de rôle a été motivé par le fait qu'elle a donné lieu à une polarisation particulière de la discussion autour de certaines dimensions de la controverse alors que notre dispositif cherchait à faire explorer aux élèves un éventail de questionnements le plus large possible. Faute de place, nous avons cependant renoncé à faire figurer cette analyse dans le corps du manuscrit. Elle est néanmoins disponible en annexe.

Par ailleurs, puisqu'il nous fallait choisir, nous n'avons retenu pour l'analyse que la dernière mise en œuvre de la séquence pédagogique que nous avons élaborée. Elle correspond en effet à la version la plus raffinée de notre séquence, celle à laquelle nous avons abouti avec le recul des trois premières mises en œuvre. Nous avons donc analysé les données que nous avons recueillies avec la quatrième et dernière classe avec laquelle nous avons travaillé.

5.5 Ancrages théoriques pour l'analyse et méthodologie d'analyse

La séquence pédagogique que nous avons présentée au chapitre précédent a été conçue et raffinée pour remplir deux objectifs. Nous voulions d'une part proposer une situation pédagogique fonctionnant dans un "cadre authentique"[20]. Et d'autre part, ces activités ont donné lieu à des recueils de données dont l'analyse a permis d'apporter des éléments de réponse à notre problématique de recherche. Ce chapitre présente les outils que nous avons mobilisés pour mener à bien cette analyse.

Du point de vue de la recherche, l'objectif de notre étude a été de documenter :

- comment des élèves de première scientifique comprennent les différentes facettes des controverses soulevées par les nanotechnologies
- et comment ils mettent à distance les discours portés par différents acteurs s'intéressant aux développements des nanotechnologies.

Notre analyse s'intéresse donc à la manière dont les élèves ont fait vivre en classe la diversité des savoirs produits et discutés par différents acteurs dans les débats soulevées par les nanotechnologies. Nous nous sommes par conséquent intéressés aux savoirs des élèves sur les controverses "nanos".

Par ailleurs, les activités proposées aux élèves les placent souvent en situation de dialogue. Aussi, dans la mesure où cette confrontation verbale peut les amener à éprouver leurs arguments mais aussi à considérer d'autres éclairages sur une question, nous avons porté une attention particulière à l'argumentation des élèves pour contribuer à documenter la mise à distance des discours qu'ils rencontrent.

5.5.1 Analyse des savoirs des élèves sur les controverses soulevées par les nanotechnologies

5.5.1.1 Entrée dans l'analyse par la dimension épistémologique du modèle de scolarisation des controverses de Albe

Albe (2007) a proposé, dans son travail d'habilitation à diriger des recherches, un modèle

20. pour reprendre l'expression du Design-Based Research Collective (2003)

pour la mise en place et l'analyse de situations d'apprentissage en classe sur des questions socioscientifiques. Nous l'avons présenté au chapitre 3, au moment de l'exposé de nos choix théoriques. Ce modèle "pour une écologie des controverses socioscientifiques" a contribué à guider notre construction de séquence pédagogique. Il nous a aussi servi pour l'analyse, en orientant la manière dont nous avons fait parler nos données. Étant donné que nous avons déjà fourni une présentation assez détaillée de ce modèle, nous allons nous concentrer ici sur l'exposé de la manière dont nous l'avons utilisé pour analyser nos données.

En recherchant quelle forme peut prendre une scolarisation des controverses soulevées par les nanotechnologies, il n'est pas question de lisser ou de refroidir les questionnements au cœur des débats. Il s'agit au contraire de confronter les élèves à une multiplicité de perspectives sur les questions que posent les nanotechnologies et non à "un texte du savoir" qui serait non problématique. Aussi, en cherchant à comprendre comment des élèves de première scientifique appréhendent les controverses soulevées par les nanotechnologies, nous nous sommes intéressés d'abord aux savoirs [21] mobilisés par les élèves sur la controverse et aux sens qu'ils leur donnent. Par conséquent, nous nous sommes focalisés essentiellement sur la dimension épistémologique de la construction théorique proposée par Albe (2007).

Notre objectif a été de documenter comment, au travers d'activités conçues pour tenir compte de la diversité des savoirs de la controverse, les élèves ont compris les divers questionnements soulevés par les développements des nanotechnologies. Nous avons donc exploré quels ont été les savoirs que les élèves ont mobilisés, en faisant l'hypothèse que ceux qu'ils ont convoqués à l'oral ou à l'écrit faisaient partie de ceux auxquels ils donnaient du sens. Ces savoirs mobilisés par les élèves lors des différentes activités ont par ailleurs été pour partie conditionnés par les ressources dont ils disposaient.

Dans son modèle sur la scolarisation des controverses, Albe distingue trois genres de savoirs qui interviennent lors de l'étude d'une controverse en classe :

- Des savoirs et pratiques sociales de référence produits par différents groupes sociaux (Albe cite comme exemples des scientifiques, experts, contre-experts, journalistes, associations de professionnels, militants associatifs...)
- Les savoirs sociaux ou "naturels", en référence à Legardez (2006) qu'ont les acteurs de l'école et qui préexistent à l'étude de la controverse.
- Les savoirs scolaires que Legardez décrit comme co-construits en classe par les enseignants et les élèves, en relation avec les deux autres genres de savoirs et avec les savoirs institutionnels de référence (programmes...) et les savoirs intermédiaires (manuels, revues de vulgarisation...).

Pour étudier comment les élèves prennent en compte la diversité des savoirs sur les controverses soulevées par les nanotechnologies, nous nous sommes donc intéressés aux contenus de leurs prises de parole et de leurs productions écrites réalisées lors des différentes activités.

5.5.1.2 Méthode d'analyse des savoirs mobilisés par les élèves lors de l'activité de jeu de rôle

L'analyse des données recueillies lors de la séance de jeu de rôle a contribué à documenter comment les élèves comprennent les controverses soulevées par les nanotechnologies.

Nous avons pour cela identifié les savoirs mobilisés par les élèves lors du jeu de rôle proprement dit.

Nous avons d'abord repéré les thèmes abordés tout au long de la discussion. Pour ce faire nous avons procédé à plusieurs lectures de l'intégralité du transcript puis nous avons découpé

21. Ici dans les savoirs sur la controverse, nous englobons les points de vue et les arguments des différents acteurs, mais aussi l'identification des acteurs qui soutiennent les différents points de vue, de leur rôle et de leurs intérêts.

l'ensemble de la discussion en séquences, une séquence rassemblant un ensemble de tours de paroles possédant une certaine unité thématique.

Ensuite, pour caractériser comment, sur chacun des thèmes, les élèves ont mobilisé les discours tenus par les différents acteurs, nous avons examiné chacun des tours de parole des élèves-acteurs en mettant systématiquement en regard le contenu de leur intervention :

- avec le contenu des cahiers d'acteurs étudiés par les élèves,
- mais aussi avec les fiches remplies par les élèves lors de l'étape de préparation du jeu de rôle.

De cette manière, nous avons identifié comment les élèves ont utilisé dans leurs productions orales et écrites

- les savoirs produits par des acteurs de la controverse [22] mis à leur disposition dans les ressources qui leur ont été distribuées
- et les savoirs naturels qu'ils ont pu apporter dans le jeu de rôle.

Nous avons ensuite repéré les thèmes que les élèves ont abordés dans les fiches remplies par groupe après le jeu de rôle et lors la discussion en classe entière en dernière partie de séance.

Comme pour le jeu de rôle, nous avons procédé à plusieurs lectures de l'intégralité du transcript de la discussion post-jeu de rôle. Nous avons alors découpé la discussion en séquences thématiques.

Nous avons aussi recherché d'où provenaient les savoirs mobilisés dans la discussion post-jeu de rôle : des cahiers d'acteurs étudiés ? du jeu de rôle ? d'apports personnels ? L'idée était ici d'une part de caractériser comment les élèves se sont emparés et ont compris les différents questionnements discutés dans les controverses soulevés par les nanotechnologies. Et d'autre part, nous voulions documenter la prise de distance critique des élèves par rapport aux arguments des acteurs.

Pour cela, nous avons analysé chacune des répliques en nous efforçant d'identifier à quoi les élèves faisaient appel pour discuter des différents thèmes :

- à des éléments du cahier d'acteurs étudié en préparation,
- à des éléments issus du jeu de rôle proprement dit,
- ou bien à des éléments nouveaux apportés par les élèves.

Par ailleurs, lorsque les élèves se référaient au contenu des documents qu'ils avaient étudiés, nous avons mis en regard le contenu des cahiers d'acteurs avec les propos des élèves. Enfin, pour évaluer plus spécifiquement la prise de distance critique des élèves, nous avons d'une part repéré l'introduction d'arguments absents des cahiers d'acteurs leur permettant de critiquer les différents points de vue présentés lors du jeu de rôle. Et d'autre part, nous avons identifié les passages où les élèves confrontaient les différents discours tenus par les organisations représentées dans le jeu de rôle.

5.5.1.3 Méthode d'analyse des savoirs mobilisés par les élèves lors de la recherche documentaire

Suite à l'activité de jeu de rôle, les élèves de la classe de Romans ont pris part à des recherches documentaires. L'analyse des productions des élèves réalisées lors cette seconde séance nous a servi à documenter les deux volets de notre problématique.

Pour apporter des éléments de réponse à la façon dont les élèves comprennent les controverses soulevées par les nanotechnologies, nous avons identifié les types de documents retenus par les élèves et les acteurs dont ils avaient sélectionnés les textes. En pratique, nous sommes

22. Dans le jeu de rôle, étant donné que nous avons fait le choix de mettre entre les mains des élèves des documents directement issus d'une mise en forme de la controverse, les savoirs scolaires sont confondus avec les savoirs produits par différents groupes sociaux participant à la controverse.

retournés consulter les sites répertoriés par les élèves pour cerner le type de source documentaire retenue (article, définition, dossier à destination du "grand public", présentation d'un projet de recherche...) et identifier les missions revendiquées par les acteurs dont les élèves avaient choisi les documents. Pour cela, nous avons consulté en particulier les pages "qui nous-sommes ?" et mené des recherches Internet [23] pour identifier certains acteurs dont la présentation n'était pas évidente sur le site indiqué par les élèves.

En outre, pour documenter la mise à distance des discours sur les nanotechnologies, nous nous sommes intéressés d'une part aux éléments avancés par les élèves pour évaluer leurs sources. Il leur était demandé :

Qui a écrit ce document ?

Quelles sont les missions de l'acteur auteur du document ?

Comment sont financés les travaux de cet acteur ?

Nous avons examiné les réponses apportées à ces questions par les élèves car pour prendre de la distance par rapport à la teneur d'un document qu'ils étudiaient, il nous semble indispensable que les élèves aient cerné qui en est l'auteur. D'autre part, nous avons examiné les motifs mis en avant par les élèves pour justifier leur choix de ressources documentaires. La mise à distance des discours a en effet des chances de ne pas être la même suivant que les élèves s'engagent dans une logique confrontation des discours ou bien qu'ils répondent a minima aux questions guidant leur recherche documentaire.

Dans un second temps, nous nous sommes intéressés à la façon dont les élèves ont exploité leurs documents. Là encore, nous avons regardé nos données sous deux angles.

D'abord nous avons cherché à identifier les éléments que les élèves avaient repris des documents. L'idée ici était de caractériser leur compréhension des débats au travers des éléments de discours qu'ils avaient sélectionnés. Pour cela nous avons examiné leurs réponses aux différentes questions posées apportées à l'oral mais aussi à l'écrit, sur leurs fiches d'exploitation des documents.

Nous avons ensuite documenté la prise de distance des élèves par rapport à ces discours en confrontant le contenu des productions orales et écrites des élèves avec le contenu des documents. L'objectif était ici de jauger si les élèves avaient simplement recopié le contenu de ces documents ou bien s'ils les interrogeaient, éventuellement en utilisant leurs connaissances.

5.5.1.4 Méthode d'analyse des savoirs mobilisés par les élèves lors de l'activité de synthèse de la séquence pédagogique

Lors de la dernière séance, une synthèse reprenant le contenu de toutes les présentations réalisées lors de l'activité de recherche documentaire a été distribuée aux élèves.

Pour analyser les suggestions de modifications de ce texte proposées par les élèves, nous avons d'abord recherché celles discutant du fond (et non de la forme) de la synthèse qu'ils avaient entre les mains. Nous avons alors examiné les raisons mises en avant par les élèves motivant leurs propositions d'amendement du texte repérant les savoirs éventuellement mobilisés pour justifier ces modifications.

Ensuite, nous nous sommes intéressés aux aspects du texte auxquels les élèves déclaraient attacher le plus d'importance dans les fiches qu'ils avaient remplies. Nous avons regroupé par thème les propositions des élèves et nous avons examiné les raisons explicitées par les élèves pour attribuer une place prééminente à telle ou telle dimension de la controverse. Cette étape nous a permis d'identifier quelles étaient les dimensions de la controverse dont les élèves s'étaient emparés le plus volontiers et qu'ils regardaient comme essentielles.

Enfin, nous avons examiné les questions formulées par les élèves. Là encore, nous les avons regroupées par thématique et nous avons analysé leur formulation (temps des verbes,

23. Nous avons procédé en naviguant à partir des liens hypertextes présents sur les sites répertoriés par les élèves ou en utilisant le moteur de recherche Google.

manière de s'adresser au chercheur) et leur contenu (références éventuelles aux activités sur les nanotechnologies auxquels les élèves avaient pris part, objet de la question) pour documenter quels sont les objets de préoccupation les élèves jugeaient parmi les plus importants et quel type de réponse ils espéraient obtenir lors de leur rencontre avec le scientifique.

5.5.2 Analyse de l'argumentation

Nous avons doublé cette analyse des savoirs sur les controverses "nanos" mobilisés par les élèves d'une analyse de leur argumentation au cours de la séance de jeu de rôle.

De nombreuses études en didactique des sciences s'intéressent à l'argumentation des élèves en classe de sciences (Driver *et al.*, 2000; Osborne *et al.*, 2004; Jiménez-Aleixandre et Erduran, 2007; Nielsen, 2012b). Nous allons revenir ici rapidement sur ces travaux dont certains traitent en particulier d'argumentation sur des questions socioscientifiques. Nous considérerons alors les différents cadres d'analyse retenus pour analyser l'argumentation des élèves, puis nous expliciterons nos choix personnels, fonctions du cadrage particulier de notre recherche.

5.5.2.1 Une multiplicité de façon d'entrer dans l'analyse de l'argumentation

Pour analyser l'argumentation des élèves, plusieurs auteurs (Par exemple Osborne *et al.*, 2004; Sampson et Clark, 2008) distinguent deux manières d'approcher l'argumentation. Ils séparent les études s'intéressant au *processus* au travers duquel des groupes d'élèves s'engagent pour proposer, critiquer, évaluer des idées et celles se focalisant sur *l'examen des arguments eux-mêmes*, produits par les étudiants pour exprimer et justifier une conclusion, une explication ou un point de vue.

Cette dichotomie ne fait toutefois pas l'unanimité. Nielsen (2012b) estime ainsi que la prise en compte des aspects dialectiques du discours est nécessaire à l'analyse des arguments eux-mêmes.

Pour mener à bien leur analyse des arguments produits par les élèves, de nombreux auteurs (Par exemple Patronis *et al.*, 1999; Walker et Zeidler, 2007; Jiménez-Aleixandre et Pereiro-Muñoz, 2002; Sadler et Donnelly, 2006; Osborne *et al.*, 2004; Jiménez-Aleixandre *et al.*, 2000, ...) s'appuient (au moins pour partie) sur le modèle de Toulmin (1958). Selon ce modèle, un argument peut être scindé en plusieurs éléments : une conclusion (claim) est proposée sur la base d'un ensemble de données (data). La relation entre conclusion et les données est assurée au travers d'une loi de passage (warrant), elle même sous-tendue par un support de cette loi (backing) [24]. Les conclusions peuvent de plus être nuancées par l'utilisation de modalisateurs (qualifiers), éventuellement développés en une restriction ou réfutation (rebuttal).

Si ce modèle de Toulmin est souvent utilisé, plusieurs auteurs en ont pointé les insuffisances. Ainsi, dans une revue de littérature examinant plusieurs cadres d'analyse utilisés en recherche en éducation aux sciences pour étudier les arguments produits par les élèves, Sampson et Clark (2008) soulignent que le modèle de Toulmin amène à se concentrer sur l'analyse de la structure de l'argument sans permettre de discuter du contenu qui peut être scientifiquement incorrect. Ces auteurs ainsi que Nielsen (2012b) mentionnent aussi les difficultés rencontrées par différents analystes pour classer les énoncés produits par les élèves dans les catégories proposées par le modèle (conclusion, données, loi de passage...). Sampson et Clark (2008) rapportent notamment certains problèmes rencontrés lorsque l'argument développé est long et qu'un énoncé peut remplir plusieurs fonctions. Enfin, certains chercheurs comme par exemple Duschl (2007) et surtout Nielsen (2012b) mettent en avant que le cadre analytique proposé par Toulmin ne permet pas de prendre en charge la dimension dialogale

24. En parlant de loi de passage, de support et de modalisateur, nous reprenons la traduction proposée par Plantin (2005). D'autres auteurs (par exemple Simonneaux et Simonneaux, 2005) traduisent "warrant" par "garantie" ou encore "backings" par "fondements".

de l'argumentation. Nielsen (2012b) montre ainsi que dans différentes études qui ont utilisé ce cadre d'analyse, la prise en compte et l'identification des éléments dialectiques du discours précède nécessairement l'application du schéma de Toulmin. Il met aussi en évidence qu'en éducation aux sciences, l'importance de cette étape n'a jamais vraiment été mise en lumière. Enfin, Nielsen estime que si la part interprétative dans l'application du modèle de Toulmin est souvent soulignée, la manière dont procèdent les analystes reste souvent implicite.

Pour remédier à ces défauts, plusieurs chercheurs ont utilisé le schéma de Toulmin en le complétant par d'autres outils analytiques. À titre d'exemple, Molinatti (2007), pour étudier des débats d'élèves sur les cellules souches embryonnaires, adjoint à sa grille d'analyse deux autres éléments complétant le modèle de Toulmin. Il utilise ainsi la typologie des arguments et procédures rhétoriques proposée par Perelman et Olbrecht-Tyteca (1958) et identifie les marqueurs de modalisation au travers desquels les élèves nuancent leur adhésion au contenu de leur prise de parole en recourant à la catégorisation de Bronckart (1996).

Des raffinements ont aussi été apportés au cadre de Toulmin pour tenter de mieux l'adapter au cas spécifique de l'étude de l'argumentation en classe de sciences (Erduran *et al.*, 2004). Toutefois pour Nielsen (2012b), la part de l'implicite dans le choix des indicateurs pour distinguer les différents éléments d'un argument reste importante. Elle n'est de plus pas discutée par Erduran *et al.* (2004), alors même qu'en théorie de l'argumentation des chercheurs évoquent ce problème depuis déjà des années. Enfin, pour Nielsen, l'interprétation du sens que peuvent revêtir les indicateurs proposés par Erduran *et al.* (2004) ne peut être faite qu'en prenant en compte la dimension dialectique du discours.

Ainsi, même si le modèle de Toulmin ou l'une de ses versions revisitées sont très fréquemment mobilisés pour étudier l'argumentation, on trouve d'autres approches dans la littérature de recherche en éducation aux sciences pour mener à bien ce genre d'analyse. Nous en présentons ici très brièvement quelques unes pour illustrer la diversité des manières d'entrer dans l'analyse de l'argumentation, tout en éclairant ces cadres analytiques en nous référant à deux petits ouvrages de synthèse de Plantin (1996 ; 2005) qui font le point sur différentes théories de l'argumentation.

Dans un article de 2005, Simonneaux et Simonneaux identifient les marqueurs de modalisation en utilisant les catégories proposées par Bronckart (1996) et repèrent les schémas d'inférence argumentative véhiculés dans la langue en s'appuyant sur la théorie de l'argumentation dans la langue développée par Anscombres et Ducrot (1983). Cette théorie part de l'idée qu'un énoncé oriente la suite de la discussion. L'idée ici est que le langage n'est pas transparent et que le sens d'un énoncé ne peut être analysé isolément, simplement en le mettant en correspondance avec une réalité physique ou mentale qu'il désignerait. La signification d'un énoncé doit ainsi être considérée au travers de la direction qu'il donne au discours. Plantin (2005, 1996) souligne que cette manière d'appréhender la question du sens d'un énoncé amène Anscombres et Ducrot à redéfinir les concepts d'arguments et d'argumentation : dans l'argumentation dans la langue, dès qu'on parle, on argumente. L'argumentation est ainsi définie comme

> *"la logique des enchaînements d'énoncés" Plantin (1996, p. 71)*

et

> *"l'étude de l'argumentation est l'étude des capacités projectives des énoncés, de l'attente que crée leur énonciation : "il est célibataire, donc... il n'est pas marié" ; "il est fort, donc ... il pourra porter ce fardeau"." (Plantin, 2005, p. 25).*

D'autres théories de l'argumentation ont aussi été utilisées et notamment la logique naturelle de Grize, par exemple par Fillon et Peterfalvi (2009) [25]. Ces auteurs s'intéressent à la manière

25. Ils complètent ce cadre par d'autres éléments leur permettant de prendre en compte l'utilisation des

dont l'argumentation intervient dans la réduction d'ambiguïtés et dans la construction du sens lors de débats en classe de sciences. Les travaux de Grize (1996) qui se centrent sur l'étude des opérations logico-discursives permettant d'élaborer une "schématisation" (soit une représentation discursive d'un objet), leur servent alors à étudier la négociation des significations entre élèves. À propos de cette théorie de l'argumentation, Plantin écrit :

> *"À la différence de Ducrot, l'accent n'est pas mis directement sur le langage, mais, en principe, sur les processus cognitifs qui lui sont sous-jacents : "Elle a pour tâche d'expliciter les opérations de pensée qui permettent à un locuteur de construire des objets et de les prédiquer à son gré"(1982, 222)." (Plantin, 2005, p. 30).*

Par ailleurs, certains chercheurs mobilisent les travaux de linguistique s'inscrivant dans ce que Plantin nomme la *"tendance critique et dialogale"* des études sur l'argumentation (Plantin, 2005, p. 17). Dans une recherche sur la manière dont des élèves mobilisent des énoncés scientifiques pour discuter d'une question où les valeurs ont toute leur importance, Nielsen (2012a) utilise l'approche pragmatique normative ("normative pragmatics") développée par plusieurs chercheurs (van Eemeren et Houtlosser, 2007; Jacobs, 2000; Goodwin, 2000) travaillant en théorie de l'argumentation. Dans cette construction théorique, l'argumentation est envisagée comme une façon de gérer un désaccord entre deux ou plusieurs personnes, en essayant, au travers du langage, "d'influencer les décisions des autres" (Goodwin, 2000, cité par Nielsen, 2012a).

Enfin certaines recherches qui se placent aussi dans une perspective dialogale, se focalisent sur le recours à certaines stratégies argumentatives non valides. Ainsi Simmoneaux et Albe (Albe, 2007; Simonneaux et Albe, 2009), se sont intéressées aux procédés d'argumentation fallacieuse pour étudier l'argumentation des élèves déployée au cours d'un jeu de rôle sur la dangerosité des téléphones cellulaires et celles d'étudiants lors de discussions contradictoires sur diverses questions socioscientifiques (énergie nucléaire, OGM, clonage humain thérapeutique, "bébés médicaments"...). En se référant aux "fallacies" de Bentham (1824) qui les définit comme des arguments pour tromper l'interlocuteur ou empêcher la discussion [26], elles distinguent, à la suite de Plantin (2005), quatre types de stratégies fallacieuses :

- les stratégies d'autorité,
- les stratégies alarmistes,
- les stratégies de temporisation,
- les stratégies jetant le trouble ou la confusion.

5.5.2.2 Utilisation d'une approche pragma-dialectique pour nos analyses de l'argumentation

Il existe donc plusieurs manières de définir mais aussi d'étudier l'argumentation. En ce qui nous concerne, nous nous sommes intéressés à l'argumentation des élèves en tant qu'outil permettant de mettre à l'épreuve des points de vue dans des situations de dialogue. Par ailleurs, notre objectif n'était pas de caractériser la structure et la complexité de l'argumentation développée par les élèves. Nous souhaitions en effet étudier l'argumentation pour documenter la prise de distance critique des élèves par rapport aux différents points de vue discutés dans une situation de débat. Par conséquent, pour notre analyse, nous avons, comme le suggère Nielsen (2012b), choisi de privilégier des outils permettant de tenir compte de la dimension dialectique des échanges.

De plus, étant donné que nous voulions caractériser comment les élèves mettaient à distance les discours rencontrés, nous avons mobilisé un cadre analytique dans lequel l'argumen-

systèmes sémiotiques autres que le langage parlé (gestes, schémas...) qui jouent un rôle important en classes de sciences.

26. Sous le terme fallacies, Simonneaux et Albe (2009) ne s'intéressent donc qu'aux stratégies manipulatoires et pas aux paralogismes qu'elles limitent aux erreurs de logiques.

tation est vue comme un outil permettant la discussion critique. Nous avons ainsi utilisé une approche pragma-dialectique de l'argumentation, telle que développée par van Eemeren et Grootendorst (1996, 2004).

En revendiquant une approche dialectique, ces auteurs s'intéressent à la discussion entre deux parties tenant des points de vue différents et cherchant à résoudre leur conflit d'opinion. Ils envisagent donc l'argumentation comme une façon rationnelle de faire avancer une discussion avec un opposant critique.

Par ailleurs van Eemeren et Grootendorst revendiquent une approche pragmatique de l'argumentation. Ils étudient ainsi l'utilisation d'énoncés en tenant compte des éléments de contexte, de manière à analyser le langage ordinaire employé dans des discussions réelles.

L'approche pragma-dialectique était ainsi doublement adaptée à nos orientations, puisque nous voulions étudier des conversations réelles où les échanges devaient permettre la confrontation critique des points de vue.

5.5.2.3 Identification des paralogismes et des sophismes

La théorie pragma-dialectique propose une approche normative de l'argumentation. Van Eemeren et Grootendorst ont ainsi proposé un ensemble de règles générales permettant le bon déroulement d'une discussion critique. Ces règles de la discussion critique telles que van Eemeren et Grootendorst les répertorient dans leur livre "la nouvelle dialectique" (van Eemeren et Grootendorst, 1996) sont les suivantes [27] :

> Règle 1 : Les partenaires ne doivent pas faire obstacle à l'expression ou à la mise en doute des points de vue.
>
> Règle 2 : La partie qui a avancé un point de vue est obligée de le défendre si l'autre partie le lui demande.
>
> Règle 3 : L'attaque doit porter sur le point de vue tel qu'il a été avancé par l'autre partie.
>
> Règle 4 : Une partie ne peut défendre son point de vue qu'en avançant une argumentation relative à ce point de vue.
>
> Règle 5 : Une partie ne doit pas attribuer abusivement à l'adversaire de prémisse implicite. Elle ne doit pas rejeter une prémisse qu'elle a elle-même laissée sous-entendue.
>
> Règle 6 : Une partie ne doit pas présenter une prémisse comme un point de départ accepté alors que tel n'est pas le cas. Elle ne doit pas non plus refuser une prémisse si elle constitue un point de départ accepté.
>
> Règle 7 : Une partie ne doit pas considérer qu'un point de vue a été défendu de façon concluante si cette défense n'a pas été menée selon un schéma argumentatif adéquat et correctement appliqué.
>
> Règle 8 : Une partie ne doit utiliser que des arguments logiquement valides, ou susceptibles d'être validés moyennant l'explicitation d'une ou plusieurs prémisses.
>
> Règle 9 : Si un point de vue n'a pas été défendu de façon concluante, alors le proposant doit le retirer. Si un point de vue a été défendu de façon concluante, alors l'opposant ne doit plus le mettre en doute.
>
> Règle 10 : Les parties ne doivent pas utiliser des formulations insuffisamment claires ou d'une obscurité susceptible d'engendrer la confusion ; chacune d'elles

27. Nous avons repris les règles de la discussion critique telles quelles sont discutées dans le livre de la nouvelle dialectique (1996). Cet ouvrage propose en effet une discussion détaillée du traitement des fallacies dans la théorie pragma-dialectique de l'argumentation, comme infraction à ces dix règles. Dans le livre plus récent "a systematic theory of argumentation" (2004), van Eemeren et Grootendorst proposent un exposé circonstancié et plus technique de 15 règles plus raffinées. Les dix règles que nous avons utilisées pour notre analyse des fallacies sont alors présentées comme une version simplifiée des règles de la discussion critique pour un usage immédiat (van Eemeren et Grootendorst parlent de "10 commandements") .

doit interpréter les expressions de l'autre partie de la façon la plus soigneuse et la plus pertinente possible.

Ces auteurs définissent alors les "fallacies" comme des violations de ces règles de la discussion critique, qui participent à faire obstacle à la résolution d'un désaccord. Leur théorie englobe ainsi les paralogismes et les sophismes traditionnels, puisqu'elle prend en compte aussi bien les erreurs de logique que les stratégies pour éviter la discussion ou tromper l'adversaire [28].

Pour ce qui concerne notre étude de l'argumentation qui vise à documenter la prise de distance critique des élèves par rapport aux discours qu'ils rencontrent, nous avons donc choisi de prêter une attention particulière à la présence éventuelle de mouvements fallacieux [29] dans le discours des élèves. Cette identification des éventuelles "fallacies" nous a ainsi permis de contribuer à caractériser les freins à la prise de distance critique par rapport aux points de vue discutés par les élèves.

Dans ce qui suit, nous parlerons indifféremment de paralogismes ou de sophismes comme le font Plantin, Bruxelles, Doury et Traverso, pour traduire le terme fallacies tel que l'entendent van Eemeren et Grootendorst (1996).

5.5.2.4 Méthode d'analyse de l'argumentation

Nous avons analysé l'argumentation des élèves déployée au cours des discussions qui ont eu lieu lors de la séance de jeu de rôle pour y repérer les éventuels mouvement fallacieux. Pour ce faire, nous avons procédé de manière itérative, de manière à raffiner progressivement notre analyse. Au cours de chacun des deux cycles d'analyse que nous avons effectués, quatre étapes peuvent être identifiées dans notre démarche.

1. Étant donné que nous nous intéressons à l'argumentation comme outil de la discussion critique, nous avons concentré nos efforts d'analyse sur les passages où des points de vue sont remis en cause mais aussi sur ceux où il est demandé aux élèves d'argumenter leur prise de position. Nous avons par conséquent repéré les manifestations de mises en doute ou de désaccord (par exemple *"Bah ouais je suis peut-être d'accord, mais, enfin"* ou encore *"Moi je suis pas bien d'accord avec çà"* aux tours de parole 271 et 245 de la discussion post jeu de rôle de Romans) ainsi que les endroits où nous incitions les élèves à argumenter leur point de vue (par exemple *"Pourquoi vous avez pas voté... Qu'est-ce qui vous semble insuffisant ?"* au tour de parole 146 de la discussion post jeu de rôle de Romans). Ce sont sur les discussions argumentées consécutives à ce type d'énoncés que nous avons concentré nos efforts d'analyse de l'argumentation.
2. Pour chacune de ces discussions, nous nous sommes efforcés d'élaborer une "présentation analytique" de la discussion (van Eemeren et Grootendorst, 1996, 2004). L'adoption d'une approche pragma-dialectique nous a conduits en effet à considérer la discussion comme un processus dynamique orienté vers la résolution d'un désaccord ou la levée d'un doute jeté sur un point de vue. L'élaboration d'une présentation analytique consiste donc à faire ressortir
   - les points de vue controversés,
   - les positions adoptées par les participants au fil de la discussion,
   - les arguments explicites ou implicites mis en avant par les différentes parties

28. Pour une explicitation des particularités de cette manière de traiter les fallacies par rapport aux autres théories de l'argumentation, voir van Eemeren et Grootendorst (1996, p. 117) ou van Eemeren et Grootendorst (2004, p. 162).

29. Nous empruntons l'expression de "mouvement fallacieux" à Plantin, Bruxelles, Doury et Traverso qui ont traduit en français la nouvelle dialectique (van Eemeren et Grootendorst, 1996) où il est question de "fallacious moves". Dans la théorie pragma dialectique, la discussion argumentative est en effet vue comme une progression (pas nécessairement linéaire) orientée vers la résolution d'un désaccord ou la levée d'un doute émis sur un point de vue. D'où l'emploi du terme mouvement. La discussion avance ou piétine.

– ainsi que la structure de leur argumentation.

Elle permet d'évaluer si la dispute a été résolue ou non, et dans ce dernier cas d'identifier quels sont les obstacles qui ont pu entraver sa résolution.
Pour aboutir à cette présentation analytique, van Eemeren et Grootendorst suggèrent d'identifier les différentes étapes de résolution de la discussion critique. Ils ont en effet proposé un modèle "idéal" de discussion critique comprenant quatre grandes étapes :

- L'étape de confrontation :
  - Un proposant propose un point de vue ;
  - Un opposant le met en doute et éventuellement en propose un autre. Dans ce dernier cas, la dispute est dite mixte.
- L'étape d'ouverture :
  - Le proposant est mis au défi de défendre son point de vue ;
  - La décision est prise d'essayer de résoudre la dispute par une discussion critique ;
  - Les deux parties s'entendent sur les points de départ et les règles de la discussion.
- L'étape d'argumentation :
  - Le proposant défend son point de vue ;
  - L'opposant défend le sien dans le cas d'une dispute mixte.
- L'étape de conclusion :
  - La discussion est résolue soit par abandon de la thèse du proposant, soit par abandon des doutes émis par l'opposant.

Toutes les étapes de ce modèle idéal de discussion critique ne figurent pas forcément dans une discussion argumentée réelle [30]. Van Eemeren et Grootendorst suggèrent ainsi que ce modèle joue le rôle d'instrument heuristique pour l'analyse de l'argumentation.

Pour identifier les différentes étapes et proposer une présentation analytique de la discussion, nous avons fait subir aux données brutes quatre types d'opérations détaillées par van Eemeren et Grootendorst (2004), à savoir :

(a) des suppressions : ils proposent d'élaguer toutes les parties du discours qui ne participent pas à la résolution de la dispute.

(b) des ajouts : il s'agit ici d'identifier et de reconstituer les points de vue et les prémisses demeurés implicites.

(c) des substitutions : van Eemeren et Grootendorst (2004) proposent de remplacer les tournures obscures ou vagues et de synthétiser les arguments ou les points de vue redondants en une seule formulation standard.

(d) des réarrangements : l'ensemble des actes de discours sont réarrangés de manière à faire ressortir les différentes étapes de la résolution du désaccord.

Ici, l'explicitation des points de vue et des arguments laissés implicites nous a conduit à nous interroger sur les engagements que nous pouvions légitimement attribuer à l'argumentateur en fonction des actes de discours et des éléments de contexte dont nous disposions. Pour reconstruire les prémisses implicites, nous nous sommes appuyés sur la technique que proposent van Eemeren et Grootendorst (1996, 2004) pour déterminer l' *"optimum pragmatique"*. Elle consiste à

> *"1. Déterminer l'argumentation dans laquelle une prémisse a été laissée implicite.*
>
> *2. Déterminer le degré de définition du contexte de cette argumentation.*
>
> *3. Déterminer quelles sont les prémisses supplémentaires susceptibles de valider l'argumentation.*

30. D'ailleurs dans le cas du jeu de rôle, nous ne cherchons pas vraiment à ce que les élèves arrivent jusqu'à l'étape de conclusion puisque cette activité doit servir à l'exposé et à la confrontation des arguments des différents acteurs. L'objectif n'est pas donc pas d'arriver à une résolution du désaccord.

4. Déterminer quelles est la prémisse supplémentaire sur laquelle le locuteur est engagé et qui apporte le plus d'informations dans ce contexte." (van Eemeren et Grootendorst, 1996, p. 78)

3. Suite à cette mise en forme analytique du discours, nous avons analysé plus spécifiquement chacune des argumentations des locuteurs intervenant dans la discussion. Pour cela, nous avons d'abord déterminé le type d'argumentation utilisée qui peut être simple (un seul argument défend le point de vue) ; multiple (plusieurs arguments indépendants étayent le point de vue) ; coordonnée (plusieurs arguments sont énoncés et doivent nécessairement être considérés dans leur ensemble pour défendre effectivement le point de vue) ; ou subordonnée (plusieurs arguments s'enchaînent : d'abord le premier défend le point de vue, un autre sert à appuyer le premier argument etc...).
   Ensuite, nous avons déterminé le type de schéma argumentatif mobilisé. Van Eemeren et Grootendorst (1996, 2004) distinguent les schémas causaux, symptomatiques et par analogie.
   Dans un schéma causal, l'argumentation s'appuie sur une relation de causalité entre le contenu des arguments et du point de vue. Par exemple dans la discussion post jeu de rôle au tour de parole 275, une élève argumente en disant que

   > *Peut-être quand que les prothèses issues des nanotechnologies seront plus développées, leurs prix baisseront.* [31]

   Selon ce schéma, le développement ou la banalisation des prothèses issues des nanotechnologies entraîne la chute de leur coût.

   Dans un schéma symptomatique, l'argumentation s'appuie sur une relation de concomittance entre le point de vue et le contenu de l'argument. L'argumentation s'appuie sur un symptôme, une caractéristique, un signe de ce qui est proposé dans le point de vue. Par exemple dans la discussion post jeu de rôle, au travers des répliques 267 et 269, une élève argumente en disant :

   > *L'utilisation de nano-implants pour améliorer les capacités humaines fait craindre une dérive vers une société où une minorité serait améliorée et l'autre non. Elle fait donc craindre une société potentiellement injuste.*

   Selon ce schéma, une société où seule une minorité est améliorée a pour caractéristique d'être potentiellement injuste.

   Enfin, une argumentation par analogie s'appuie sur une similitude, un parallèle entre ce qui est présenté dans l'argument et le point de vue. Par exemple, dans la discussion post-jeu de rôle à la réplique 165, une élève déclare :

   > *On sait quand même que ça affecte l'environnement donc ça peut être dangereux pour l'homme.*

   Son argumentation repose ici sur un parallèle entre l'impact sur l'environnement d'un produit et ses effets sur la santé de l'homme.

4. Enfin, suite à cette reconstruction de la discussion critique et à cet examen des schémas argumentatifs, nous avons recherché les "fallacies" présentes dans le discours des élèves. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur les différentes illustrations proposés par van Eemeren et Grootendorst (1996) de violation des règles de la discussion critique que nous avons énoncées plus haut au paragraphe 5.5.2.3 [32].

31. Les tournures employées pour les trois exemples donnés ici sont des issues des reconstructions de l'argumentation des élèves.

32. Ces auteurs indiquent que leur théorie propose des normes de la discussion critique mais pas des critères (voirvan Eemeren et Grootendorst, 1996, p. 122). Nous nous sommes donc interrogés systématiquement sur la violation ou non des règles de la discussion critique, sans avoir de critère explicitement pré-défini pour juger de la violation d'une des règles de discussion.

Cette méthode d'analyse de l'argumentation a été mise en œuvre pour étudier le jeu de rôle et la discussion en classe entière qui a suivi. Nous allons d'ailleurs à présent détailler les résultats de nos analyses de données, en commençant par cette première activité.

Chapitre 6

Analyse du jeu de rôle mis en place à Romans

Dans les chapitres qui suivent, nous allons rendre compte de notre analyse des données recueillies avec la quatrième et dernière classe avec laquelle nous avons travaillé. Il s'agit de la seconde classe de première S du lycée de Romans-sur-Isère dans laquelle nous sommes intervenus. Nous examinerons tour à tour :

- les discussions et les écrits des élèves recueillis lors de la séance de jeu de rôle ;
- les documents et les présentations des élèves qu'ils ont produits lors de la séance de recherche documentaire ;
- et enfin, les productions orales et écrites réalisées lors de la séance consacrée à la discussion d'un "cahier d'acteurs" de la classe et à la préparation de questions par les lycéens pour échanger avec Joël Chevrier, physicien de l'Université Joseph Fourier.

Le compte rendu de notre travail d'analyse de la séance du jeu de rôle fait l'objet de ce chapitre et du suivant, et va s'articuler en trois parties.

Dans la première, nous analyserons le jeu de rôle proprement dit. Nous donnerons un aperçu global du contenu de la discussion en présentant notre découpage thématique du débat. Puis nous resserrerons les mailles de notre description en procédant pour chaque thème à l'examen du contenu des interventions des élèves. Ceci nous va nous permettre de caractériser l'aperçu de la controverse donné au travers du jeu de rôle. Nous rendrons ensuite compte de notre analyse de l'argumentation, ce qui nous fournira quelques indications sur la mise à distance critique des discours par les élèves.

Dans la seconde partie, plus courte, nous analyserons les fiches remplies par les élèves après le jeu de rôle. Enfin, nous passerons au crible le contenu des prises de parole des élèves lors de la discussion finale qui a clos la séance.

6.1 Aperçu des thèmes abordés dans le jeu de rôle

L'énumération des différents thèmes abordés dans ce jeu de rôle fournit une première ébauche de la structure de la discussion. Elle donne aussi une première idée des dimensions des controverses soulevées par les nanotechnologies qui ont été abordées par les élèves-acteurs. Ces thèmes sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tours de parole	Thème(s)
4 à 46	Tour de table introductif de présentation des acteurs
47 à 59	Priorités de recherches et conséquences de l'utilisation des nanoparticules
60 à 76	Utilisation des nanotechnologies en médecine
77 à 84	Toxicité des nanoparticules
85 à 100	Protection des travailleurs et difficultés pour évaluer la toxicité
101 à 102	Absence de recul et information de la population
103 à 114	L'utilisation du nano-TiO_2 dans les crèmes solaires
115 à 121	Nanotechnologies et pollution
122 à 152	Toxicité et écotoxicité des nanoparticules
153 à 164	Développement des nanotechnologies sans urgence et amélioration des capacités humaines
165 à 171	Demande d'un moratoire
171 à 180	Information des citoyens, mise en débat et développement responsable des nanotechnologies
181 à 188	Enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies
189 à 200	Protection des libertés et encadrement
201 à 210	Développement responsable et encadrement éthique
211 à 248	Développements en médecine et interrogations suscitées par ces développements
249 à 250	Propriété intellectuelle
251 à 271	Tour de table final

Dans ce qui suit, nous allons revenir sur le contenu des échanges sur chacune de ces thématiques.

6.2 Mise en regard du contenu des interventions et du contenu des documents étudiés et produits en préparation

6.2.1 Tour de table introductif

Passé l'exposé des consignes, le jeu de rôle a débuté par un bref tour de table où les élèves se sont présentés en quelques phrases. Au cours de ces courtes présentations introductives, les élève-acteurs ont tous mobilisé des éléments issus de leur cahier d'acteurs pour donner une idée à l'assistance de l'identité et du rôle de l'organisation dont ils étaient les représentants. C'est par exemple le cas de l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes qui cite textuellement le contenu du document qu'elle a étudié en préparation.

33	Gestionnaire de débat	La Fondation Sciences Citoyennes euh
34	Serena - FSC	Bah nous sommes une association qui a pour objectif de favoriser et prolonger le mouvement actuel d'appropriation citoyenne et démocratique de, de la science, et de mettre au service du bien... du bien commun.
35	Gestionnaire de débat	D'accord. Donc vous travaillez sur l'appropriation par les citoyens de la science pour que la science soit mise au service du bien commun. C'est çà ?
36	Serena - FSC	Oui.

L'élève reprend ici mot pour mot, les termes employés par la Fondation Sciences Citoyennes pour se présenter. Lorsque cette organisation expose ses missions dans sa contribution aux débats de la CNDP elle écrit en effet :

> *"La Fondation Sciences Citoyennes est une association loi 1901 créée en 2002.*
> *Elle a pour objectif de favoriser et prolonger le mouvement actuel d'appropriation citoyenne et démocratique de la science, afin de la mettre au service du bien commun." (FSC)*

L'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes n'est pas la seule à reprendre exactement le contenu de son cahier d'acteurs pour se présenter. L'élève représentant la CNIL fait de même.

9	Gestionnaire de débat	(...) Monsieur de la CNIL, vous pouvez vous présenter en quelques mots ?
10	Stéphane - CNIL	Bah nous on veille à ce que le développement des nouvelles technologies ne porte pas atteinte, ni à l'identité humaine, ni aux droits de l'homme, ni à la vie privée, ni aux libertés individuelles ou publiques.
11	Gestionnaire de débat	D'accord. Et "CNIL", vous pouvez nous dire ce que ça veut dire euh ?
12	Stéphane - CNIL	Commission Nationale de l'Information et des Libertés

Dans le cahier d'acteurs de la CNIL, dans le petit paragraphe où cette institution présente ses missions, il est écrit :

> *"Créée par la loi en 1978, la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) est une autorité administrative indépendante, dotée depuis 2004 d'un pouvoir de contrôle renforcé sur l'ensemble des traitements de données personnelles.*
> *Jouant aussi un rôle d'alerte et de conseil, la CNIL a fondamentalement pour mission de veiller à ce que le développement des nouvelles technologies ne porte atteinte ni à l'identité humaine, ni aux droits de l'homme, ni à la vie privée, ni aux libertés individuelles ou publiques." (CNIL)*

L'élève cite donc textuellement un extrait du paragraphe du cahier d'acteurs de la CNIL consacré à l'exposition des missions de cette commission.

L'élève-actrice représentant les Amis de la Terre reprend aussi précisément certaines expressions employées dans son cahier d'acteurs pour se présenter.

37	Gestionnaire de débat	*(à Miriam)* Vous représentez les Amis de la Terre. Allez-y, présentez vous.
38	Miriam - AdlT	Nous sommes une fédération nationale d'associations territoriales. Nous œuvrons pour la protection de l'homme et de l'environnement.
39	Gestionnaire de débat	D'accord. Merci. Euh donc une association de protection de l'environnement.

Pour leur part, lorsqu'ils se présentent dans leurs cahier d'acteurs, les Amis de la Terre indiquent :

> *"Au cœur du mouvement écologiste mondial depuis 1970, l'association les Amis de la Terre France est une fédération nationale d'associations territoriales, membre du Réseau International Friends Of the Earth, présent dans 77 pays et réunissant*

plus de 2 millions de membres. Elle œuvre pour la protection de l'homme et de l'environnement ainsi que pour la promotion de sociétés soutenables au nord comme au sud." (AdlT)

L'élève met donc en avant les objectifs de *"protection de l'homme et de l'environnement"* que soulignent les Amis de la Terre. Toutefois, même si elle parle de *"protection de l'homme",* elle ne reprend pas explicitement la visée de *"promotion des sociétés soutenables"* qui apparaît dans l'exposé des missions des Amis de la Terre dans leur cahier d'acteurs.

L'élève-actrice représentant l'Association Française Tranhumaniste s'appuie aussi sur le contenu de son cahier d'acteurs pour se présenter en reprenant aussi les mots utilisés par cette organisation.

44	Alice - AFT	Donc nous on est une association euh, qui est créée pour diffuser les thématiques et les questionnements relatifs aux technologies et euh promouvoir ces technologies.
45	Gestionnaire de débat	D'accord... D'accord, donc sur les technologies... en particulier sur ?
46	Alice - AFT	euh permettant l'améliorer et de prolonger la vie des individus et de l'espèce humaine.

L'Association Française Transhumaniste a écrit de son côté qu'elle :

"s'est donnée pour objet de : "diffuser les thématiques et les questionnements relatifs aux technologies susceptibles d'améliorer et de prolonger la vie des individus et de l'espèce humaine. L'association se propose de promouvoir ces technologies, liées notamment au fonctionnement corporel et aux conditions de vie, aussi bien dans les domaines scientifiques, philosophiques, artistiques, etc." (extrait des statuts de l'association)" (AFT)

Dans son premier tour de parole (44), l'élève-actrice ne mentionne donc d'abord qu'une partie des objectifs que cette organisation affirme poursuivre dans son cahier d'acteurs. Puis, suite à la relance de la gestionnaire de débat, l'élève représentant le mouvement transhumaniste précise que les technologies auxquelles elle faisait référence visent à permettre l'amélioration de la vie des individus et de l'espèce humaine.

Ce type de relance de la gestionnaire de débat incitant l'élève à donner plus de détails, se retrouve lorsque l'élève-actrice représentant l'INRS prend la parole.

4	Anna - INRS	On cherche euh tous les risques liés aux nanotechnologies. On étudie tout ce qui peut, toutes les conséquences.
5	Gestionnaire de débat	D'accord, vous faites des recherches sur les risques. Euh sur une certaine population en particulier ?
6	Anna - INRS	Euh surtout sur les travailleurs.
7	Gestionnaire de débat	Surtout sur...
8	Anna - INRS	Sur les professionnels.

L'élève représentant l'INRS présente d'abord cet institut comme un endroit où l'on étudie "les risques liés aux nanotechnologies et toutes les conséquences". Dans l'introduction du cahier d'acteurs de l'INRS on peut en effet lire :

"Les besoins de recherche sont immenses et l'INRS, comme de nombreux autres instituts de recherche, se mobilise pour développer les connaissances sur la toxicité des nanoparticules et concevoir des méthodes fiables pour évaluer l'exposition." (INRS)

Le terme de risque est d'ailleurs bien employé par les auteurs de ce cahier qui écrivent :

> *"L'évaluation de l'exposition est un élément essentiel de l'évaluation des risques liés aux nanoparticules" (INRS).*

En revanche, le terme de "conséquences" ne figure pas dans dans le cahier d'acteurs de l'INRS. L'élève-actrice, en avançant cette phrase assez vague : *"On étudie tout ce qui peut, toutes les conséquences"* apporte donc dans la discussion un élément qui ne figure pas dans le contenu du cahier d'acteurs.

De son côté, l'élève représentant le CNRS et le CEA situe aussi en quelques mots ces organismes de recherche, sans reprendre non plus exactement les termes employés par ces organisations dans leur cahier d'acteurs.

13	Gestionnaire de débat	D'accord, ensuite monsieur du CNRS et du CEA, vous pouvez vous présenter en deux mots ?
14	Arnaud - CNRS-CEA	Bah nous on fait la... on fait de la recherche sur les nanotechnologies et on les développe.
15	Gestionnaire de débat	D'accord, donc vous êtes des organismes de recherche et vous travaillez sur les nanotechnologies.
16	Arnaud - CNRS-CEA	Oui.

Dans son intervention, l'élève représentant le CNRS et le CEA utilise le contenu du document qu'il a étudié en préparation du jeu de rôle. Dans le corps du cahier d'acteurs produit par le CNRS et le CEA, il est en effet écrit :

> *"L'État a confié au CNRS et au CEA la mission de développer les nanosciences et les nanotechnologies au service de la collectivité nationale, en lien avec les universités et les industriels." (CNRS-CEA)*

L'élève se sert donc du contenu du document qu'il a étudié pour présenter l'acteur qu'il représente. La gestionnaire de débat reformule son intervention en employant la terminologie "d'organismes de recherche" qui figure aussi dans le cahier d'acteurs du CNRS et du CEA

> *"Le Centre national de la recherche scientifique et le Commissariat à l'énergie atomique sont deux organismes publics de recherche." (CNRS-CEA)*

Par ailleurs, lorsqu'il se présente, l'élève représentant le CNRS et le CEA insiste sur le fait que ces deux institutions contribuent au développement des nanotechnologies. Cette focalisation occulte donc le fait que les nanotechnologies ne regroupent pas l'ensemble des pistes de recherche explorées par les chercheurs du CNRS et du CEA.

Cette façon de contextualiser l'activité de l'acteur représenté dans le jeu de rôle en mettant l'accent sur les nanotechnologies et en réduisant du même coup la portée de ses missions se retrouve chez l'élève-acteur représentant la CFE-CGC. Lui aussi, s'appuie sur le cahier d'acteurs de ce syndicat pour se présenter.

18	Laurent - CFE-CGC	Nous c'est la Confédération Française de l'Encadrement et la Fédération Générale des Cadres. On représente euh donc les cadres euh, les ingénieurs, les agents de maîtrise, les techniciens qui vont travailler sur les nanotechnologies.
19	Gestionnaire de débat	D'accord. Donc vous représentez des salariés. Vous êtes quoi comme type d'organisme ?
20	Laurent - CFE-CGC	Un syndicat.

Dans son cahier d'acteurs, la CFE-CGC se présente comme :

> *"la première force syndicale représentative des cadres et du personnel d'encadrement. Elle est membre de Confédération Européenne des Cadres (CEC) qui est un partenaire social représentatif au niveau européen.*
>
> *La CFE-CGC, indépendante de tout parti politique, s'adresse aux classes moyennes, tout en gardant sa spécificité qui est d'être la voix des techniciens, agents de maîtrise, forces de vente, cadres, ingénieurs et à ceux qui ont vocation à le devenir - c'est-à-dire, à des salariés dont les fonctions comportent responsabilité, initiative et/ou commandement dans les secteurs privé, para-public et la Fonction Publique." (CFE-CGC)*

L'élève représentant la CFE-CGC reprend donc des éléments issus du cahier d'acteurs pour se présenter et restreint la population d'adhérents de la CFE-CGC aux travailleurs du secteur des nanotechnologies. Enfin, lorsque la gestionnaire du débat lui fait préciser le type d'organisation qu'ils représente, l'élève parle de syndicat, s'appuyant ainsi sur le contenu du document qu'il a étudié.

Enfin, un troisième élève-acteur se présente en restreignant l'étendue de ses missions au cas particulier des nanotechnologies. Il s'agit de l'élève ayant étudié le cahier d'acteurs de l'Académie de Médecine en préparation du jeu de rôle.

39	Gestionnaire de débat	D'accord. Merci. Euh donc une association de protection de l'environnement. L'académie nationale de médecine.
40	Corentin - ANM	Euh nous on essaye de voir comment on peut intégrer les nanotechnologies à la médecine.
41	Gestionnaire de débat	D'accord...
42	Corentin - ANM	Dans les médicaments, dans les...
43	Gestionnaire de débat	D'accord. Vous êtes une académie, euh une académie (*Corentin fait oui de la tête*)... Et maintenant, madame des transhumanistes.

L'élève-acteur représentant l'Académie de Médecine estime que cette société savante *"essaie de voir comment on peut intégrer les nanotechnologies à la médecine"*. De son côté, lorsque l'Académie de Médecine se présente dans son cahier d'acteurs, elle écrit :

> *"L'Académie nationale de médecine est l'héritière de l'Académie de chirurgie fondée par Louis XV et de la Société royale de médecine, toutes deux dissoutes à la Révolution."*

Elle ajoute aussi :

> *"Selon L'ordonnance royale de 1820 : "Cette Académie sera spécialement instituée pour répondre aux demandes du gouvernement sur tout ce qui intéresse la santé publique, et principalement sur les épidémies, les maladies particulières à certains pays, les épizooties, les différents cas de médecine légale, la propagation de la vaccine, l'examen des remèdes nouveaux et des remèdes secrets, tant internes qu'externes, les eaux minérales naturelles ou factices, etc. ... elle s'occupera de tous les objets d'étude ou de recherches qui peuvent contribuer au progrès des différentes branches de l'art de guérir.""*

La présentation que cette société savante propose de ses missions, ne fait ainsi pas allusion explicitement aux nanotechnologies, même si elle revendique s'occuper *"de tous les objets d'étude ou de recherche"* utiles pour la médecine.

Par ailleurs, lorsque les élèves travaillant sur le cahier d'acteurs de cette académie en préparation du jeu de rôle se sont intéressés aux objectifs de cette société, le repérage du rôle

de cet acteur semble ne pas leur avoir paru évident puisqu'à la question "Cet acteur définit-il ses missions et si oui, comment ?", ils ont répondu :

"Non, cet acteur ne définit pas ses missions."

Enfin l'élève représentant la FEBEA utilise aussi le contenu de son cahier d'acteurs pour se présenter sans toutefois y coller strictement.

21	Gestionnaire de débat	Un syndicat ? D'accord. Monsieur de la FEBEA, vous pouvez vous présenter aussi ?
22	Thomas - FEBEA	Euh, nous on crée des nouveaux produits de beauté donc euh *(il a un geste montrant la pancarte)*
23	Gestionnaire de débat	D'accord vous êtes la... pardon vous pouvez vous, nous expliquer le type de
24	Thomas - FEBEA	Bah en fait on est le syndicat des entreprises de beauté.
25	Gestionnaire de débat	D'accord. La fédération des entreprises de beauté qui est un syndicat professionnel ?
26	Thomas - FEBEA	Oui
27	Gestionnaire de débat	D'accord.
28	Thomas - FEBEA	Et on cherche à créer de nouveaux produits à base de nanotechnologies, comme le TiO qui permettrait de se protéger du soleil.
29	Gestionnaire de débat	D'accord vous, vous... TiO c'est, vous pouvez
30	Thomas - FEBEA	C'est le dioxyde de... de titane. De ti...
31	Gestionnaire de débat	de titane ?
32	Thomas - FEBEA	De titane oui.

Au tour de parole 22, l'élève représentant la FEBEA se présente en avançant que l'organisation dont il est le représentant crée des produits de beauté. La FEBEA indique, elle, dans le cahier d'acteurs qu'elle a fourni à la CNDP :

> *"La FEBEA est l'unique Syndicat professionnel des entreprises de beauté et de bien-être (parfumerie, cosmétiques, produits d'hygiène, de toilette, produits capillaires) reconnu au titre de la loi de 1884.*
>
> *Elle rassemble plus de 250 entreprises, qui représentent l'essentiel du chiffre d'affaires du secteur." (FEBEA)*

La FEBEA se présente donc comme un syndicat professionnel regroupant les entreprises de la beauté. Ainsi, si l'élève réduit les missions de cet acteur à la création de produits de beauté, ce qu'il dit est toutefois cohérent avec le contenu du cahier d'acteurs de la FEBEA.

Relancé par la gestionnaire de débat, l'élève-acteur précise ensuite qu'il représente un syndicat professionnel dans la réplique 24, puis il aborde spontanément le fait que l'industrie cosmétique utilise le dioxyde de titane dans les crèmes solaires. Cette utilisation est bien mentionnée dans le cahier d'acteurs de la FEBEA. Il n'est toutefois pas écrit que les industries cosmétiques chercheraient à utiliser ce composé ; il est écrit qu'elles le font déjà.

> *"Parmi les nanomatériaux, le plus connu et le plus utilisé est le dioxyde de titane (TiO2). Ce filtre minéral est connu pour sa capacité à réfléchir, disperser*

et absorber les rayons ultra-violets (UV) et à protéger contre les effets délétères induits par une exposition prolongée au soleil. Il est utilisé dans les produits de protection solaire sous la forme de nano dioxyde de titane depuis bientôt 20 ans." (FEBEA)

Finalement, le passage en revue des interventions des élèves-acteurs lors de ce tour de table introductif montre que tous les élèves s'appuient sur le contenu de leur cahier d'acteurs pour intervenir. À certains endroits toutefois, certains (représentants de l'INRS de la FEBEA et des Amis de la Terre) mobilisent des éléments s'écartant un peu du contenu de leur cahier d'acteurs ou ne reprennent qu'une partie des missions mentionnées par les organisations auteurs de ces documents. Enfin, d'autres (représentants de l'Académie de Médecine, du CNRS-CEA et de la CFE-CGC) restreignent les activités des organisations qu'ils représentent au secteur des nanotechnologies.

6.2.2 Priorités de recherches et conséquences de l'utilisation des nanoparticules

Suite au tour de table introductif, la discussion s'oriente sur les priorités de recherche et sur les conséquences de l'utilisation des nanoparticules. La première élève-actrice à s'exprimer dans ce jeu de rôle est l'élève qui a étudié le cahier d'acteurs des Amis de la Terre. Elle répercute le message de cette association qui rend compte d'une répartition des budgets de recherche qu'elle estime inadéquat.

48	Miriam - AdlT	Vous avez parlé de 70 millions d'euros qui sont... offerts pour le développement des nanotechnologies. Donc nous nous posons la question de il n'y a pas assez de fonds pour euh le, le développement de la toxicologie. 70 millions de fonds par an de fonds publics qui vont être accordés aux entreprises et centres de recherche, mais euh, contre euh, zéros centimes pour les recherches sur la toxicologie.
49	Gestionnaire de débat	D'accord, donc euh, vous voulez développer la recherche sur la toxicologie ?
50	Miriam - AdlT	Voilà.
51	Gestionnaire de débat	Pourquoi ? Vous pouvez nous expliquer un peu ?
52	Miriam - AdlT	Donc... Ce sont... C'est il y a donc pareil trop peu de fonds qui sont développés pour la recherche et la santé, donc euh, alors que c'est encore dangereux et des effets toxicologiques sont encore inconnus.
53	Gestionnaire de débat	Alors des effets toxicologiques, vous pouvez nous en dire un peu plus ? *(Miriam ouvre des grands yeux)* ou... d'autres personnes peuvent aussi s'exprimer. Quels effets toxicologiques, vous avez des exemples précis ? *(Miriam a l'air un peu déboussolée)* Qu'est-ce qui peut causer des effets toxicologiques ? S'il y en a d'autres qui veulent s'exprimer allez-y. Oui, vous voulez parler ?

En remettant en cause les choix actuels de priorités de recherche, l'élève-actrice reprend des éléments issus du cahier d'acteurs des Amis de la Terre et repérés par elle et son groupe lors de la préparation. Parmi les thèmes abordés dans le cahier d'acteurs que les élèves ont répertoriés, elles ont ainsi notamment écrit :

"Problème sur la répartition des fonts : Trop pour la recherche nanotechnologie et pas assez pour la protection de la santé et de l'environnement (toxicologie)"

Dans le tableau associé à cette thématique, elles ont de plus noté des extraits d'un passage du cahier d'acteurs des Amis de la Terre où il est écrit :

"Les fonds alloués aux études toxicologiques sont dramatiquement dérisoires comparés à ceux octroyés aux applications des nanotechnologies. Exemple frappant : sur les 70 millions d'euros par an de fonds publics qui vont être accordés aux entreprises et centres de recherche dans le cadre du projet NanoInnov, pas un centime ne sera attribué aux études toxicologiques ;" (AdlT)

Dans la réplique 48, l'élève-actrice se réfère donc précisement au contenu du cahier d'acteurs des Amis de la Terre.

Suite à la demande de la gestionnaire de débat d'expliciter les motifs pour lesquels elle demande un effort de recherche plus important en toxicologie, l'élève représentant les Amis de la Terre met aussi en avant que certaines nanoparticules peuvent être toxiques et que leurs effets sont encore largement inconnus. Ces éléments figurent aussi dans le cahier qu'elle a étudié. Il y est par exemple écrit :

Des risques sanitaires et environnementaux négligés

À l'échelle nanométrique, les particules ont des comportements inattendus et des effets toxicologiques inconnus. En février 2008, la revue Toxicological Sciences ("Nanotechnology Safety concerns", 101-2008) examinait de façon objective les études existantes, retenant les risques pour la santé auxquels les nanoparticules nous exposent en pénétrant dans le corps.

Par inhalation : *les nanoparticules de dioxyde de manganèse, inhalées par le rat, se retrouvent dans les zones profondes du cerveau, provoquant un stress oxydatif qui peut altérer gravement les neurones et favoriser les maladies neurodégénératives.*

Par contact : *une peau irritée ou présentant une plaie semble ne pas être une barrière efficace. Alors que des nanoparticules sont utilisées depuis plusieurs années dans les cosmétiques, comme par exemple le dioxyde de titane dans les crèmes solaires, on a "oublié" par exemple - ce qui est un comble ! - que le TiO est photo dépendant toxique et qu'il peut provoquer des cancers de la peau et du colon !*

Enfin, l'ingestion : *chez le rat, on a constaté que, via l'intestin, les nanoparticules touchent le système immunitaire. Le tissu lymphoïde déclenche des réactions de défense exacerbées entraînant des réponses inflammatoires et un stress cellulaire avec son panel d'altérations susceptibles de provoquer des maladies graves - cancers, allergies, troubles neurodégénératifs. Ces dangers entraineront à terme un coût social et humain largement négligé par les firmes qui commercialisent déjà ces nanoparticules. (AdlT)*[1]

L'élève représentant les Amis de la Terre et son groupe avaient d'ailleurs relevé en préparation du jeu rôle des extraits de ce passage du cahier d'acteurs dans une thématique qu'ils avaient intitulé : *"Risque sur la santé négligé à cause du manque de recherche sanitaire effectué sur produit inconnu"*. Pourtant au moment où la gestionnaire du débat lui demande des exemples précis, l'élève représentant les Amis de la Terre semble mise en difficulté.

Elle se rattrapera un peu plus tard dans le débat, lorsqu'elle sera de nouveau sollicitée pour intervenir dans la discussion.

En attendant, c'est l'élève-actrice représentant l'INRS qui demande la parole pour rebondir sur les questions de toxicité des nanoparticules.

1. L'utilisation de caractères gras figure dans le cahier d'acteurs. Dans tout ce qui suit, nous n'utiliserons de caractères gras que pour reproduire la mise en forme originale de ces cahiers.

53	Gestionnaire de débat	Alors des effets toxicologiques, vous pouvez nous en dire un peu plus ? *(Miriam ouvre des grands yeux)* ou... d'autres personnes peuvent aussi s'exprimer. Quels effets toxicologiques, vous avez des exemples précis ? *(Miriam a l'air un peu déboussolée)* Qu'est-ce qui peut causer des effets toxicologiques ? S'il y en a d'autres qui veulent s'exprimer allez-y hein. Oui, vous voulez parler ?
54	Anna - INRS	Les nanotechnologies provoquent des inflammations pulmonaires.
55	Gestionnaire de débat	Des inflammations pulmonaires. Vous avez des exemples de nanotechnologies euh oui ? Donc c'est... *(Anna a l'air aussi un peu embêtée pour répondre)* C'est quel type d'objet créé par les nanotechnologies, vous avez des... *(Anna murmure quelque chose d'inaudible)* C'est n'importe quel type d'objet ? Non vous n'avez pas de précisions ?
56	Anna - INRS	Non
57	Gestionnaire de débat	Et donc euh vous menez des recherches sur la protection des travailleurs, est-ce que vous pouvez nous expliquer un peu quels sont les... comment vous estimez les risques ? Quels sont éventuellement les difficultés que vous avez ?
58	Anna - INRS	On fait euh des études et..., mais on n'a pas beaucoup de moyens et les recherches sont difficiles, donc il faut, il faut... Le peu de recherches, le peu de résultats qu'on a nous montre qu'il y a des risques sur la santé mais bon... on peut pas euh, considérer tout parce qu'on n'a pas les moyens nécessaires et... (*dernier mot inaudible*)
59	Gestionnaire de débat	D'accord donc vous avez des difficultés pour évaluer les risques, vous pouvez nous en dire un peu plus ? Vous avez des exemples de ces difficultés ? pour évaluer les risques soulevés par... (*Anna a un sourire*) Non ? Vous pouvez y réfléchir un petit peu et puis on va prendre... il y avait madame des transhumanistes qui voulait, qui voulait intervenir.

Globalement, dans cette succession de répliques, l'élève représentant l'INRS esquisse certaines idées présentes dans le cahier d'acteurs qu'elle a étudié en préparation même si elle ne dit pas exactement la même chose que ce qu'on peut lire dans ce document.

Ainsi, dans sa première réplique l'élève-actrice déclare que

> *"les nanotechnologies provoquent des inflammations pulmonaires".*

Le cahier d'acteurs de l'INRS traite en effet d'inflammations pulmonaires. Il est écrit dans son cahier d'acteurs :

> *"Un certain corpus de connaissances est en effet en faveur de l'hypothèse d'une plus grande toxicité des nanoparticules, notamment en ce qui concernent les effets inflammatoires pulmonaires, comparativement aux particules micro- et macroscopiques de même nature chimique." (INRS)*

L'élève reprend donc l'idée énoncée par l'INRS dans ce paragraphe, mais en radicalisant en quelque sorte le propos de cet institut. Elle ne parle plus *"d'un certain corpus de connaissances*

en faveur de l'hypothèse..." mais affirme :

> *"Les nanotechnologies provoquent des inflammations pulmonaires."*

Par ailleurs, elle parle de nanotechnologies et non de nanoparticules.

Cette sorte de radicalisation par rapport au contenu du cahier d'acteurs ne se retrouve pas dans les fiches de préparation des élèves puisqu'elles y ont relevé les marques de prudence qu'affiche cet institut de recherche lorsqu'il parle des résultats de recherche. Ainsi les élèves ayant étudié le cahier d'acteurs de l'INRS ont noté dans un tableau associé au thème qu'elle ont intitulé *"La toxicité des nanotechnologies"* :

> *"Les nanotechnologies présentent des risques pour la santé.*
>
> *- Connaissances encore limitées*
>
> *"Les connaissances sur la toxicité des nanoparticules manufacturées sont encore limitées."*
>
> *- Le peu de connaissances actuelles prouvent déjà ces effets.*
>
> *"Un certain corpus de connaissances est en effet en faveur de l'hypothèse d'une plus grande toxicité des nanoparticules. Les premiers résultats de recherches démontrent des effets biologiques inquiétants."*
>
> *- Les nanotechnologies s'infiltrent dans notre corps .*
>
> *"Trois voies d'exposition potentielles que sont les voies digestive, cutanée et respiratoire.""*

Ensuite, dans la réplique 58, l'élève-actrice représentant l'INRS intervient pour préciser les difficultés rencontrées pour évaluer "les risques". Elle affirme ainsi que l'INRS n'aurait "pas beaucoup de moyens". L'idée que les moyens financiers nécessaires aux recherches en toxicologie ou bien à l'évaluation des expositions ne seraient pas disponibles, n'apparaît pas explicitement dans le cahier d'acteurs de l'INRS. On peut seulement lire :

> *"Les besoins de recherche sont immenses" (INRS)*

Par ailleurs, pour ce qui concernent les moyens matériels, il est écrit dans le cahier de l'INRS :

> *"Identifier les scénarios d'exposition, caractériser ce à quoi sont réellement exposées les personnes, doit être obtenu par l'intermédiaire d'études menées sur le terrain dans les entreprises ou les laboratoires. Néanmoins, c'est une tâche actuellement difficile car de nombreux instruments sont nécessaires pour obtenir les paramètres requis (composition, quantité, taille, morphologie, etc.)." (INRS)*

L'INRS nous semble donc bien souligner que des moyens matériels et que des efforts de recherches importants sont nécessaires. Cependant, en affirmant que cet institut de recherche n'aurait pas beaucoup de moyens, l'élève représentant l'INRS tire des conclusions qui ne sont pas explicitées dans le cahier d'acteurs de l'INRS. De plus, dans cette réplique 58, l'élève actrice représentant l'INRS affirme aussi :

> *"les recherches sont difficiles, donc il faut, il faut... Le peu de recherches, le peu de résultats qu'on a nous montre qu'il y a des risques sur la santé mais bon..."*

Plusieurs extraits du cahier d'acteurs de l'INRS se rapportent à l'idée que *"les recherches sont difficiles"*. Ainsi il est écrit dans le document fourni par l'INRS :

> *"Les résultats de ces études doivent toutefois être examinés avec prudence. L'approche toxicologique conventionnelle basée sur l'existence de relations dose-effet où la dose est exprimée en masse est remise en question. En effet, dans le cas des nanoparticules, de nombreux paramètres autres que la composition chimique et la masse semblent contribuer aux effets toxiques et influencer la pénétration et le devenir des particules dans l'organisme." (INRS)*

"Au total, chaque produit synthétisé pourrait avoir des propriétés différentes. Dans un tel contexte, l'évaluation du danger reste difficile et des études complémentaires sont nécessaires." (INRS)

"Il existe à ce jour des instruments permettant d'obtenir directement ou indirectement un certain nombre de caractéristiques des nanoparticules, mais la majorité ont été conçus pour des applications de recherche plutôt que pour des mesures de terrain : la tâche est complexe et relève encore du domaine des spécialistes. Le développement de méthodes fiables constitue un des importants challenges pour ces prochaines années." (INRS)

L'idée que les recherches sont difficiles nous semble donc présente dans le cahier d'acteurs de l'INRS. Toutefois, l'élève donne ici très peu d'éléments à l'auditoire pour qu'il saisisse ce qui l'amène à s'exprimer de la sorte et elle ne mobilise pas les éléments du cahier d'acteurs qui auraient pu éclairer cette déclaration.

Suite à cette intervention, la gestionnaire du débat incite l'élève-actrice représentant l'INRS à expliciter son propos. Elle semble alors être mise en difficulté pour répondre.

6.2.3 Utilisation des nanotechnologies en médecine

Après ces interventions sur les priorités de recherches et les questions de toxicologie soulevées par l'utilisation des nanoparticules, l'élève-actrice représentant l'Association Française Transhumaniste demande la parole. Sa première intervention porte sur certaines réalisations en médecine rendues possibles ou envisageables par les développements des nanotechnologies.

60	Alice - AFT	Euh
61	Gestionnaire de débat	Donc vous, vous êtes une association et
62	Alice - AFT	Donc en fait on peut dire que grâce aux nanotechnologies, euh il y a quand même pas mal de progrès pour la santé, comme avec les nanorobots qui permettent, par exemple, injectés dans l'organisme de, d'améliorer les capacités motrices, perceptives ou cognitives du corps ou du cerveau, donc je pense que les fonds permettraient d'améliorer encore ces améliorations.
63	Gestionnaire de débat	Donc par rapport à madame *(désignant Miriam, représentant les Amis de la Terre)*, qui pensait qu'il n'y avait pas suffisamment de fonds accordés à la recherche toxicologique et que tous les fonds allaient au développement, vous dites que ça sert pour
64	Alice - AFT	Ça sert pour euh la santé
65	Gestionnaire de débat	La santé et plus particulièrement, pour certaines applications de développements de nano-implants
66	Alice - AFT	Euh oui,
67	Gestionnaire de débat	C'était çà votre ?
68	Alice - AFT	Oui oui. Des thérapies pratiquées par des nano-robots.

Au travers de la réplique 62, l'élève-actrice représentant l'Association Française Transhumaniste esquisse quelques perspectives ouvertes par les nanotechnologies pour la santé et l'amélioration des capacités de l'être humain. Ces éléments avaient été repérés en préparation par les élèves puisque, sur leurs fiches, on peut lire entre autres dans l'un des tableaux de préparation du jeu de rôle :

"- Modification sur l'Humain et l'Humanité : Nanomédecine "thérapies pratiquées par des nanorobots injectés dans l'organisme, médicaments délivrés par nanocapsules" avec pour conséquence possible allongement espérance de vie ; avec nanoimplants pour améliorer capacités motrices, perceptives ou cognitives du corps ou du cerveau."

Ces éléments relevés par les élèves figurent par ailleurs explicitement dans le cahier d'acteurs qu'a fourni l'Association Française Transhumaniste à la CNDP. On peut en effet y lire :

"Concernant l'Humain, les projets ne manquent pas non plus : Nanomédecine tout d'abord (thérapies pratiquées par des nanorobots injectés dans l'organisme, médicaments délivrés par nanocapsules) avec pour conséquence possible un allongement encore important de l'espérance de vie, mais bientôt, nano augmentations de tous ordres, grâce à des nano implants, afin d'améliorer les capacités motrices, perceptives ou cognitives du corps ou du cerveau. De telles perspectives amènent à s'interroger sur les conséquences, négatives ou positives d'une éventuelle diversification de l'espèce.

Il apparaît donc que de telles transformations peuvent avoir un impact sur notre "humanité", au sens de caractéristique de l"individu humain, ainsi que sur l'Humanité, ensemble de ces individus.

La révolution nanotechnologique exige une réflexion sur l'Humain" *(AFT)*

L'Association Française Transhumaniste tire comme conséquence de ces utilisations en médecine qu'il est nécessaire de mener une réflexion sur l'humain. À cet endroit du débat, l'élève ne fait pas écho à cette conclusion. Elle estime cependant que l'argent débloqué pour les nanotechnologies permettrait *"d'améliorer encore ces améliorations"*. Cette demande que des moyens soient alloués à la recherche sur les nanotechnologies, figure aussi explicitement dans le cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste. Dans la synthèse qui conclut la contribution au débat public de cette organisation, on peut ainsi lire :

"> Oui aux nanotechnologies dans tous les domaines, sans aucun tabou.

> Oui aux contrôles nécessaires lors des recherches, et dans tout processus en amont de la dissémination.

> Oui à la recherche systématique du recyclage en aval.

Dans tous les cas, cela signifie bien davantage de moyens pour la recherche." (AFT)

Dans cette intervention, l'élève-actrice représentant l'Association Française Transhumaniste avance donc certains exemples issus du cahier d'acteurs qu'elle a étudié en préparation du jeu de rôle. Elle mentionne notamment les projets d'amélioration des capacités de l'humain et demande plus de moyens pour travailler à ces développements.

L'élève-acteur représentant l'Académie Nationale de Médecine se manifeste alors pour demander la parole. Il illustre aussi par des exemples les perspectives ouvertes par les nanotechnologies dans le domaine de la santé.

69	Gestionnaire de débat	Monsieur de l'Académie de Médecine, vous vouliez intervenir là-dessus ? Allez-y.
70	Corentin - ANM	Euh oui, pour dire que c'est vrai euh, pour compléter ce qu'elle a dit. Dans la médecine aussi, on a beaucoup de choses pour améliorer la vie au quotidien. Pour améliorer la santé, pour améliorer la, le physique en général.
71	Gestionnaire de débat	D'accord.

72	Corentin - ANM	Et on avait vu qu'aussi, nous on n'a pas trop, on n'a pas euh de, d'effets directs, parce qu'étant donné que nos réalisations elles sont euh, faits comme tous les médicaments, enfin c'est très encadré, on n'a pas remarqué de...
73	Gestionnaire de débat	Alors, donc vous dites qu'il y a, qu'effectivement ça sert à la santé. Vous pouvez nous donner des exemples précis de réalisations que ça permet ?
74	Corentin - ANM	Euh on a des stimulateurs cardiaques. On a par exemple euh quelque ch..., des choses pour euh, sensoriels, des prothèses robotisées.
75	Gestionnaire de débat	Donc ça rejoint un peu les nanorobots et là les prothèses robotisées... ça... vous pouvez nous expliquer un peu c'est quoi ces prothèses robotisées ? *(Corentin a un sourire)* Vous vous souvenez pas forcément, vous avez d'autres exemples encore euh ?
76	Corentin - ANM	Euh oui, on a une caméra euh sous forme d'un cachet qu'on peut prendre pour, pour visualiser l'intérieur de l'intestin.

Au travers de cette intervention, l'élève-acteur représentant l'Académie de Médecine commence par souligner certaines possibilités ouvertes par les développements des nanotechnologies. Dans la réplique 70, il parle de

> *"choses pour améliorer la vie au quotidien"*

puis il ajoute

> *"Pour améliorer la santé, pour améliorer la, le physique en général."*

L'idée que les nanotechnologies pourraient permettre "d'améliorer la santé" apparaît d'une certaine manière dans le cahier d'acteurs de l'Académie de Médecine puisque cette société savante donne des exemples de possibilités ouvertes par les nanotechnologies pour la médecine. On peut par exemple lire dans ce document :

> *"Les Nanosciences, en accroissant les capacités des mémoires informatiques, ont révolutionné les performances de toute l'électronique médicale, implantée ou non. Mais c'est dans la qualité du diagnostic et dans la puissance des traitements que les progrès apportés sont les plus spectaculaires." (ANM)*

De plus, le cahier d'acteurs de l'ANM mentionne aussi les effets des nanotechnologies sur "le quotidien", dans le cadre de la convergence entre les nanosciences, les technologies de l'information et les sciences cognitives.

> *"Et puis, la médecine, comme l'ensemble de notre quotidien, commence à bénéficier presque à son insu de la convergence des nano sciences avec les techniques de l'information et des sciences cognitives : pour un amputé du bras, par exemple, la télécommande par la pensée du patient d'une prothèse robotisée est maintenant possible. Cette convergence permet d'espérer parvenir à traiter les déficiences physiques et sensorielles de l'être humain." (ANM)*

Dans la réplique 70, l'élève-acteur représentant l'ANM mobilise donc le contenu de son cahier d'acteurs pour intervenir et mettre en avant les perspectives ouvertes par les développements des nanotechnologies, sans illustrer toutefois son propos par des exemples comme le fait cette société savante.

Dans la réplique suivante (72), l'élève change ensuite de sujet, abordant la question des "effets directs" des nanotechnologies.

"Et on avait vu qu'aussi, nous on n'a pas trop, on n'a pas euh de, d'effets directs, parce qu'étant donné que nos réalisations elles sont euh, faits comme tous les médicaments, enfin c'est très encadré, on n'a pas remarqué de..."

Ce que l'élève entend sous l'expression "effets directs" ou encore "nos réalisations" n'est pas explicité. On peut toutefois identifier, dans le cahier d'acteurs rédigé par l'ANM, des éléments pour mettre en perspective le contenu de cette prise de parole. Ainsi, à propos des effets des nanotechnologies et en particulier des nano-médicaments, il est écrit dans le cahier de l'ANM :

" à l'heure actuelle, les effets délétères de la nanoindustrie, qui déjà prend les plus grandes précautions, apparaissent moins probables que ceux des nano particules issues de la pollution environnementale, et ceci pour plusieurs raisons :

1/ On en prévient aujourd'hui les risques les plus vraisemblables, en raison justement de l'expérience acquise, d'une part en matière de pollution atmosphérique, et d'autre part à propos de l'amiante. Cette expérience est largement mise à profit dans la fabrication des nanomatériaux, notamment des tubes de carbone, bien qu'il n'existe encore pour la nano-industrie aucune réglementation particulière.

2/ De plus, la fabrication de ces nanomatériaux implique, en elle-même, afin d'éviter toute nano-souillure, l'emploi presque généralisé de salles blanches.

3/ C'est pourquoi la manipulation des nanomatériaux par leurs constructeurs et leurs utilisateurs expose normalement ceux-ci à des doses particulièrement faibles.

4/ Quant à l'administration à l'homme de nano-objets, elle est soumise à la contraignante réglementation de la mise sur le marché des médicaments et des matériaux implantés, impliquant des essais expérimentaux et cliniques approfondis, ce qui en a jusqu'à présent sécurisé l'emploi." (ANM)

Ainsi, dans la réplique 72, l'élève représentant l'Académie de Médecine nous paraît faire écho au contenu du cahier d'acteurs qu'il a étudié en préparation, même si son intervention nous apparaît un peu sibylline.

Par ailleurs, si l'on recherche dans les fiches de préparation remplies par les élèves une référence aux "effets directs" ou au cas particulier des médicaments, on n'y retrouve pas textuellement ce que l'élève-acteur avance. Ils ont toutefois relevé des choses relatives aux médicaments. Dans le tableau associé au thème qu'ils ont intitulé "risques", ils ont ainsi écrit :

"Il y a des risques.

- risque éventuel encouru" → possibilité de risque, rien n'est sur sachant que c'est nanoscience, sont traités tel de new médoc' (essaie, salle blanche)"

Il nous semble donc qu'ici l'élève ne s'appuie pas vraiment sur les notes prises par lui et son groupe en préparation.

Suite à cette intervention, la gestionnaire de débat lui propose d'illustrer son propos en donnant des exemples de réalisations ouvertes par les nanotechnologies pour la médecine. Dans les répliques 74 et 76, l'élève-acteur cite alors les réalisations que l'Académie de Médecine présente comme rendues possibles grâce à la convergence entre les technologies. Ces exemples avaient été relevés parmi d'autres par les élèves lors de la préparation du jeu de rôle. Dans le tableau associé au thème qu'ils ont nommé : *"Les nano-objets volontairement créés*", ils ont en effet noté :

des appareils visant à améliorer la vie au quotidient

- conditions physique, "stimulateurs cardiaques, sensoriels, neurologiques," "protèse robotisées", caméras."

- diagnostique personnel "medecine tenant de mieux en mieux compte des particularités de chaque individus.

- un suivi complet de l'objet "cycle de vie", "usure à long terme", "effet et toxicité"."

Enfin, dans la réplique 76, l'élève donne aussi l'exemple d'

> *"une caméra euh sous forme d'un cachet qu'on peut prendre pour, pour visualiser l'intérieur de l'intestin."*

Dans cette dernière réplique, l'élève rend compte du contenu du cahier d'acteurs qu'il a étudié mais en ajoutant quelques précisions de son fait. Il est en effet seulement écrit dans le cahier d'acteurs de l'ANM que les nanosciences aboutissent à *"la réalisation de caméras digestives ou montées sur cathéters, etc." (ANM)*

6.2.4 Toxicité

À cet endroit du jeu de rôle, la gestionnaire du débat relance l'élève-acteur représentant l'Académie de Médecine pour qu'il détaille la position de cette société savante sur les questions de toxicité des nanotechnologies. L'élève représentant l'Académie de Médecine demeure cependant assez vague sur ce thème.

77	Gestionnaire de débat	Ouais donc d'accord. Et donc, et en matière de toxicologie, madame disait que qu'il n'y avait pas assez de recherches. Vous avez des éléments sur la toxicologie euh, sur les risques...
78	Corentin - ANM	On n'a... on n'a pas énormément d'éléments, mais on a quand même souligné que il y avait un risque de toxicité.
79	Gestionnaire de débat	D'accord un risque de toxicité. De quel type en particulier ? Qu'est-ce qui pourrait être toxique ? Vous avez des éléments là-dessus ?
80	Corentin - ANM	Euh...
81	Gestionnaire de débat	Non, vous ne savez pas exactement ? Alors monsieur du CNRS-CEA avait pris, avait demandé la parole, allez-y et puis après (*s'adresse à Laurent*), on reviendra à vous

L'élève mentionne ici que l'Académie de Médecine a identifié l'existence d'une possible toxicité d'objets issus des nanotechnologies. Toutefois, il ne précise pas quels sont ces objets incriminés et ne détaille pas les raisons qui justifient que l'Académie de Médecine se préoccupe de ces questions sanitaires et environnementales.

Il ne reprend donc pas à l'oral, à cet instant, le contenu de l'un des paragraphes du cahier d'acteurs de l'Académie de Médecine intitulé *"Les risques éventuels des Nano-Technologies pour la santé de l'homme"* où cette société savante écrivait :

> *"Mais si on dispose de travaux nombreux concernant les dangers des nanoparticules de la pollution environnementale, en revanche on ne dispose que de peu d'études animales évaluant ceux des nano-objets manufacturés, notamment à long terme. Pourquoi actuellement sait-on si peu de choses sur la réalité et les mécanismes de cette toxicité redoutée pour l'ensemble des objets nés des nanotechnologies ? Essentiellement pour deux raisons :*
>
> *1/ Cette activité est récente, moins de vingt ans. Elle est restée longtemps très réduite, cantonnée dans les laboratoires de recherches fondamentales et appliquées. Son développement industriel n'a vraiment débuté qu'avec le siècle. C'est pourquoi, à moins d'une très forte dangerosité, la possibilité de voir apparaître rapidement des effets adverses insoupçonnés est faible.*
>
> *2/ La multiplicité des métrologies nécessaires pour les nano-objets a rendu difficile jusqu'ici la définition de l'ordre des priorités des recherches. On ne dispose que d'études fragmentées, sans conceptualisation d'ensemble. Car ces risques sont sûrement différents suivant les propriétés physiques, chimiques et biologiques des*

nano-objets, leur concentration, leur mode d'utilisation, leur durée et de vie et leur mode de dégradation dans l'environnement.

Pour chaque nano-objet, il faudra disposer d'un dossier toxicologique complet, car aucune généralisation n'est, à l'heure actuelle, possible à partir des données obtenues avec des particules semblables mais non identiques." (ANM)

Ainsi, si l'élève-acteur affirme clairement que l'Académie de Médecine a identifié des risques pour la santé, il ne cite pas ces éléments relatifs à la toxicité des nanoparticules avancés par la société savante qu'il représente. Ceux-ci n'avaient d'ailleurs pas été relevés par lui et son groupe lors de la préparation du jeu de rôle. Les élèves ayant étudié en préparation le cahier d'acteurs de l'Académie de Médecine avaient toutefois repéré que la question des risques était présente dans le document qui leur avait été distribué. Ils ont ainsi intitulé l'un des thèmes développés dans le cahier d'acteurs : *"Risques"*. Toutefois dans le tableau associé à ce thème, ils ont écrit :

– Pour les thèses et arguments de l'acteur :

"Il y a des risques.

- risque éventuel encouru" → possibilité de risque, rien n'est sur sachant que c'est nanoscience, sont traités tel de new médoc' (essaie, salle blanche)"

– Pour les recommandations formulées par l'Académie de Médecine :

"autorisation de mise sur marché nano-medicament → principe actif
Informer la population en cas de risque"

Cette intervention de l'élève représentant l'Académie de Médecine sera la seule touchant aux questions sanitaires et environnementales des nanotechnologies.

Suite à cette prise de parole, deux élèves se manifestent : celui représentant le CNRS et le CEA et celui représentant le syndicat de la CFE-CGC. L'élève représentant le CNRS et le CEA intervient le premier et met en avant les contributions de ces organismes de recherche sur les questions de toxicité et d'écotoxicité.

81	Gestionnaire de débat	Non, vous ne savez pas exactement ? Alors monsieur du CNRS-CEA avait pris, avait demandé la parole, allez-y et puis après on reviendra à vous (*s'adresse à Laurent*)
82	Arnaud - CNRS-CEA	Oui, je voulais souligner pour les recherches que nous on a créé une, qu'on a créé bah l'Inée qui est l'institut écologique et environnement, qui est, qui cherche sur la toxicologie, la prévention des risques, l'instrumentation, l'analyse et tout.
83	Gestionnaire de débat	D'accord.
84	Arnaud - CNRS-CEA	C'est pour euh, pour les risques.

La référence à la création de l'Inée ne figure pas dans les fiches remplies par les élèves, mais dans le cahier d'acteurs du CNRS et du CEA, il est par contre mentionné que le CNRS a mis sur pied l'Inée. Les recherches sur la toxicologie, la prévention des risques, l'instrumentation... sont aussi mises en avant dans ce texte. Toutefois, il n'est pas indiqué que ces recherches seraient mises en œuvre à l'Inée.

"Le CNRS et le CEA ont mis en place des approches différentes et complémentaires. Au CNRS, l'interdisciplinarité a été élargie à la participation de spécialistes des Sciences humaines et sociales (SHS). Le CNRS est également partie prenante dans les travaux de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE, qui regroupe les gouvernements attachés aux principes de la démocratie et de l'économie de marché). Plusieurs chantiers de réflexion sont

en cours : élaboration et utilisation des produits "nanos" ; principe de précaution ; aspects juridiques. L'organisme a créé son propre comité d'éthique (le Comets). Dans les centres C'nano sont également mises en place des réflexions sur les aspects sociétaux. L'Institut écologie et environnement (Inée) a été créé en 2006 pour organiser la recherche sur l'environnement et le développement durable. Enfin, des analyses et des recherches portent sur les dangers pour la santé humaine et l'environnement : toxicologie et écotoxicologie, instrumentation analytique, prévention des risques, participation à la normalisation, soutien à la réglementation, etc." (CNRS-CEA)

L'élève établit donc ici un lien entre des éléments issus du cahier d'acteurs (la création de l'Inée et la conduite de recherche sur la toxicologie, la prévention des risques, l'instrumentation...) inexistant dans ce document.

C'est ensuite au tour de l'élève représentant la CFE-CGC de prendre la parole. Lui oriente la discussion sur les questions de protection des travailleurs.

6.2.5 Protection des travailleurs

Rebondissant sur les exemples d'utilisations pour la médecine mis en avant par les élèves représentant respectivement l'Association Française Transhumaniste et l'Académie Nationale de Médecine, l'élève-acteur représentant la CFE-CGC déclare qu'il faudrait d'abord prendre en compte la santé des travailleurs utilisant les nanotechnologies.

85	Gestionnaire de débat	D'accord donc vous dites que vous, vous menez en particulier des recherches sur les risques. Peut-être madame des Amis de la Terre, on vous, on vous redemandera là de, de réintervenir, savoir si vous avez des exemples ou, puisque vous disiez que l'on avait des difficultés en toxicologie. Est-ce que vous pourrez revenir là-dessus ? Avant, il y a monsieur de la CFE-CGC qui a demandé la parole.
86	Laurent - CFE-CGC	Je voulais dire, avant que les nanotechnologies puissent servir dans la médecine, il faut prendre en compte qu'elles peuvent affecter la santé des gens qui vont travailler avec les nanotechnologies et les concevoir. Et donc nous, comme on protège les salariés qui vont travailler sur la nanotechnologie, et ben c'est pas. On ne sait pas ce que, les gens qui travaillent dessus ce que ça peut leur faire.

La protection des travailleurs, sur laquelle l'élève-acteur met l'accent, est une préoccupation que la CFE-CGC qualifie de "priorité" dans son cahier d'acteurs. L'un des paragraphes s'intitule ainsi : *"Priorité : Protection des salariés !"*. On peut par ailleurs lire dans ce document :

"Les nanotechnologies sont porteuses d'espoir, mais comme pour tout, il peut y avoir de mauvais usages et des risques spécifiques nouveaux.

Il est indispensable de généraliser une surveillance systématique de la toxicité et des risques pour la société qui sont pris à l'occasion de la recherche, de la production et de la consommation des nanotechnologies comme cela doit être le cas pour n'importe quel produit ou service." (CFE-CGC)

Ou encore un peu plus loin, il est écrit :

"Le renforcement de la surveillance de la santé des salariés est un impératif pour la CFE-CGC et le rôle des CHSCT (Comité d'Hygiène Sécurité et Conditions de Travail) doit être renforcé dans les domaines de la prévention des risques

pour la santé physique et psychique des individus, sachant que le Grenelle de l'environnement a fait clairement apparaître le besoin de mieux prendre en compte également les risques pour l'environnement dont la prévention pourrait également être confiés aux CHSCT." (CFE-CGC)

La nécessité de prendre en compte la protection des travailleurs concevant les nanotechnologies avait par ailleurs été relevée en préparation du jeu de rôle par les élèves étudiant le cahier de la CFE-CGC. Dans un tableau associé au thème "Limiter les risques", ils ont écrit :

"- protection des salariés → leurs santé

- Nouvelle technologie donc nouvelle règle pour empêcher son détournement à des fins néfastes.

- Protection de l'environnement → critère de dangerosité des nanoparticules

- Identification des produits nocifs à la santé pour limiter les risques psychosociaux

CHSCT → travail sur la prévention des risques pour la santé physique et psychique"

Dans la suite de la réplique 86, l'élève représentant la CFE-CGC revient sur le manque de connaissances sur les effets pour la santé des nanotechnologies en affirmant :

"On ne sait pas ce que, les gens qui travaillent dessus ce que ça peut leur faire."

Cette déclaration a pu être inspirée par le contenu du cahier d'acteurs de la CFE-CGC puisque ce syndicat y indique :

"Des questions se posent également sur l'impact environnemental des processus de production, sur les problèmes de transport, de stockage et de cycle de vie des nanomatériaux. On n'a que peu d'informations aujourd'hui sur leur interaction avec les systèmes vivants, de sorte qu'il est difficile d'évaluer le danger potentiel qu'ils représentent." (CFE-CGC)

Le manque de connaissances sur la toxicité des nanoparticules que l'élève met en avant ici figure donc aussi dans le cahier d'acteurs de la CFE-CGC. Les élèves ayant étudié ce document n'avaient toutefois pas relevé cet élément en préparation.

Puisque la discussion aborde les questions de protection des travailleurs, la gestionnaire de débat sollicite alors l'élève-actrice représentant l'INRS. L'élève ne développe toutefois pas beaucoup ce thème mais discute des raisons qui rendent l'évaluation de la toxicité des nanoparticules difficile.

87	Gestionnaire de débat	Alors madame de la protection, qui travaille donc dans un institut de recherche qui travaille sur la protection des travailleurs vous êtes d'accord sur cette question ?
88	Anna - INRS	Oui, tout... tout à fait d'accord avec lui.
89	Gestionnaire de débat	Oui ? et sur les, les mesures des expositions des travailleurs à ces nanotechnologies, vous avez des choses à dire ? *(pas de réaction)* Sur euh, vous avez, vous avez des choses à nous dire là-dessus sur la manière dont vous évaluez la toxicité ou l'exposition des travailleurs ?
90	Anna - INRS	C'est assez difficile à, à évaluer parce que c'est en fonction de la taille des nanoparticules, en fonction de leur forme euh
91	Gestionnaire de débat	D'accord, donc c'est à dire, il y a la forme, la taille des nanoparti... Alors vous parlez de nanoparticules, c'est-à-dire certaines parties des nanotechnologies, pas tout ce qui est nanotechnologies, ce qui est nanoparticules, et donc vous dites qu'il y a plusieurs paramètres ?

92	Anna - INRS	Oui
93	Gestionnaire de débat	Vous avez parlé de taille, de forme.
94	Anna - INRS	Il y a aussi le, le... en fonction de leur dispersion.
95	Gestionnaire de débat	hunhun
96	Anna - INRS	Comment elles se... Si c'est du gel, si c'est de la poudre, ça n'a pas les mêmes conséquences.
97	Gestionnaire de débat	Par conséquences, vous entendez quoi exactement ?
98	Anna - INRS	Si ça se disperse plus, ça affecte plus de monde, c'est plus...
99	Gestionnaire de débat	Sur la santé ? sur l'env... ?
100	Anna - INRS	Oui

Dans cet extrait, l'élève-actrice représentant l'INRS semble d'abord encline à répondre de manière laconique. La gestionnaire de débat lui propose alors d'intervenir sur la toxicité ou bien sur les expositions des travailleurs. En réponse, l'élève représentant l'INRS revient seulement sur les questions de toxicité des nanoparticules. Dans la réplique numéro 90, elle invoque la multiplicité des paramètres influant sur la toxicité des nanoparticules. Elle mobilise ici une idée qui figure dans le cahier d'acteurs de l'INRS où les variables contribuant aux effets toxiques sont discutées :

> *"En effet, dans le cas des nanoparticules, de nombreux paramètres autres que la composition chimique et la masse semblent contribuer aux effets toxiques et influencer la pénétration et le devenir des particules dans l'organisme. Sans vouloir être exhaustif, on peut par exemple citer la taille, le nombre et la forme des particules, leur surface, leurs propriétés chimiques de surface ou encore leur état d'agrégation." (INRS)*

Cet extrait auquel l'élève-actrice semble faire écho, n'avait pas été relevé en préparation du jeu de rôle. Les élèves avaient cependant noté que certaines difficultés entravaient l'évaluation de la toxicité des nanoparticules. Elles avaient par exemple écrit :

> *- Connaître plus les risques liés aux nanotechnologies*
> *"une bonne connaissance qualitative et quantitative de l'exposition est un élément essentiel de l'évaluation et de la gestion du risque"*
> *- être sûr des résultats déjà obtenus*
> *"les données toxicologiques actuelles, bien que contradictoires"*
> *- dangerosité pour l'homme difficile à établir*
> *"études animales et de tests in vitro [...] dont les résultats sont difficilement extrapolables à l'homme.""*

Dans la réplique 90, l'élève représentant l'INRS semble donc répondre à la sollicitation de la gestionnaire de débat en faisant allusion à un passage du cahier d'acteurs ayant trait à l'évaluation de la toxicité des nanoparticules plutôt qu'à l'évaluation des expositions, sans toutefois utiliser ce qu'elle et son groupe avaient relevé sur leurs fiches de préparation.

Dans le tour de parole 94, l'élève représentant l'INRS fait ensuite allusion à la dispersion des nanoparticules.

> *"Il y a aussi le, le... en fonction de leur dispersion."*

Vu la manière dont elle introduit cet élément, il nous semble qu'elle y fait référence comme à l'un des paramètres influant sur la toxicité des nanoparticules. Pourtant, si dans le cahier d'acteurs de l'INRS la question de la forme sous laquelle se trouve les nanoparticules est bien discutée, cette discussion intervient lorsqu'il est question d'évaluation des expositions et non

d'évaluation de la toxicité. Il est ainsi écrit dans le paragraphe "Caractérisation de l'exposition professionnelle" :

> *"Habituellement, pour toute substance chimique sous forme d'aérosol et quelle que soit la taille des particules qui la composent, l'exposition professionnelle est caractérisée de manière quantitative par la concentration en masse (exprimée par exemple en mg/m3 d'air) associée aux gammes de tailles des particules qui pénètrent dans les différentes régions du système respiratoire (fractions inhalable, thoracique et alvéolaire). Pour les nanoparticules, les connaissances convergent vers le fait que, pour les substances insolubles ou faiblement solubles, les deux seuls indicateurs que sont la masse et la composition chimique semblent inappropriés et la question des critères de mesures de l'exposition en termes de gamme de tailles, de concentration et autres paramètres reste en suspens." (INRS)*

Et dans le paragraphe "Sources d'exposition professionnelle" :

> *"En plus des facteurs liés au poste de travail, la forme sous laquelle se trouvent les nanoparticules (poudre, suspension liquide, gel, nanocomposite, etc.) et la capacité des produits à émettre dans l'air des aérosols lors de leur manipulation constituent des facteurs qui influent sur le niveau d'exposition." (INRS)*

En laissant entendre que l'état sous lequel les nanoparticules se trouvent influe sur leur toxicité, l'élève représentant l'INRS ne répercute pas la discussion sur les expositions des travailleurs que propose cet institut.

Dans les fiches remplies en préparation du jeu de rôle, les élèves ont aussi fait mention de la dispersion des nanoparticules. Dans la case "recommandations que l'acteur formule" du tableau associé au thème *"la toxicité des nanotechnologies"*, elles ont écrit :

> *"- Favoriser la forme la moins dispersive des produits "utiliser la forme la moins encline à se disperser dans l'air".*
> *- Utiliser des équipements appropriés "employer un équipement de protection individuelle adapté".*
> *- Assurer une traçabilité suffisante pour limiter les risques.*
> *"La démarche de prévention exige [...] d'en assurer la traçabilité""*

Les élèves n'ont donc pas vraiment noté que la toxicité dépendait de la forme sous laquelle se trouvait les nanoparticules. Elles ont noté que, parmi les recommandations formulées par l'INRS, figurait celle d'utiliser les nanoparticules sous une forme moins dispersive. À l'oral, l'élève représentant l'INRS nous semble donc extrapoler par rapport à ce qu'elle et ses collègues avaient noté en préparation.

6.2.6 Absence de recul et information de la population

Le débat se poursuit ensuite par une intervention de l'élève-actrice représentant la Fondation Sciences Citoyennes. Elle commence par se positionner elle aussi sur la question des "risques", en soulignant le manque de connaissances actuel pour les évaluer puis déclare que "personne n'est au courant".

101	Gestionnaire de débat	Sur la santé ? D'accord. Euh oui, madame de la Fondation Sciences Citoyennes, vous, vous avez demandé la parole, allez-y.
102	Serena - FSC	D'abord, je trouve qu'il y a beaucoup de risques mais pas assez de budgets dedans, euh parce qu'on ne sait pas si c'est nocif. On n'a aucune connaissance dessus. Euh on a beaucoup de pol, de pollution. Il y a de la pollution, on est tous les jours en contact par le textile, les cosmétiques euh,

102	Serena - FSC	tout ça, et on ne sait pas du tout ce que ça peut faire et personne, les civils et tout, ils ne sont pas non plus au courant.

En estimant *"qu'il y a beaucoup de risques",* l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes propose une idée qui n'est pas tout à fait celle que met en avant la Fondation Sciences Citoyennes dans son cahier d'acteurs. Dans la synthèse du cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes, cette organisation écrit en effet :

> *"La maîtrise de ces technologies ne peut qu'accroître le pouvoir de ceux qui les détiennent au détriment des autres, et leur commercialisation incontrôlable conduira inévitablement à de nouveaux monopoles, sans compter qu'aujourd'hui, on est incapable de déterminer les risques et encore moins les dangers que représentent ces objets pour l'environnement et la santé humaine." (FSC)*

La Fondation Sciences Citoyennes n'écrit donc pas exactement "qu'il y a beaucoup de risques" mais plutôt qu'il est, à l'heure actuelle, impossible de les déterminer.

L'élève-actrice représentant la Fondation Sciences Citoyennes déplore ensuite l'insuffisance de moyens financiers. Toutefois comme l'élève dit seulement qu'il n'y a pas "assez de budgets dedans", son intervention demeure peu précise. On peut toutefois supposer, étant donné que le début de sa prise de parole porte sur les risques, qu'il s'agit là d'une insuffisance de moyens financiers pour évaluer ces risques. Dans ce cas, l'élève-actrice mobilise des éléments présents explicitement dans le cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes. Cette fondation met en effet en avant le fait qu'elle estime que les budgets alloués aux recherches sur la toxicité et en sciences humaines sont insuffisants.

> *"Le budget mondial alloué aux questions d'évaluation des risques, tout comme les études des effets toxiques des nanoparticules, notamment sur le long terme, restent insignifiants, de même que le budget en sciences humaines." (FSC)*

D'ailleurs l'insuffisance des budgets accordés aux effets toxiques avait été notée par les élèves en préparation. Dans l'un de leur tableau au thème qu'elles ont intitulé "Financement et lieux", les élèves ont noté entre autres :

> *"Pas de budjet dans les recherches et la protection".*

Suite à ces remarques sur l'existence de risques et l'insuffisance des budgets, l'élève-actrice poursuit en disant :

> *"On n'a aucune connaissance dessus."*

Là encore, nous supposons que l'élève parle des risques liés à l'utilisation des nanoparticules. Concernant le manque de connaissances sur les effets des nanoparticules, la Fondation Sciences Citoyennes écrit dans son cahier d'acteurs :

> *"Puisque les nanoparticules ne répondent pas aux lois de la physique classique, le principe d'équivalence en substance ne peut prévaloir : de nouvelles méthodes d'évaluation des risques, [et] notamment de la toxicité et de la dissémination de ces substances dans l'environnement, deviennent indispensables.*
>
> *> Quels sont les effets de la bioaccumulation et de la persistance des nanoparticules dans les organismes et dans notre environnement ?*
>
> *> Quels sont les modes de dispersion des nanoparticules dans notre environnement et quelles en sont les conséquences ?" (FSC)*

La Fondation Sciences Citoyennes souligne ainsi les nombreuses inconnues existant à l'heure actuelle sur la toxicité des nanoparticules. Néanmoins, si cette organisation pointe l'ampleur du chantier en matière de recherche en toxicologie, elle n'écrit nulle part qu'on ne disposerait à l'heure actuelle "d'aucune connaissance".

L'élève-actrice représentant la Fondation Sciences Citoyennes reprend donc la discussion sur le manque de connaissances en toxicologie des nanoparticules présente dans le cahier

d'acteurs en forçant le trait et en radicalisant le propos de la Fondation Sciences Citoyennes. Cette radicalisation se retrouve d'ailleurs dans les fiches remplies en préparation par le groupe d'élèves ayant étudié le cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes.

Dans le tableau associé au thème *"Les risques et dangers des nanos"*, les élèves ont écrit dans la case "Thèses et arguments de l'acteur sur ce thème" :

> *"Les nanotechnologies ont un impact sur la société et notre vie quotidienne, notamment sur l'environnement, la santé.*
> *- pollution*
> *- toxicité des aliments*
> *- risques santé*
> *- risques environnement*
> *- consommateurs*
> *- travailleur*
> *Risques, mais pas de danger car aucune étude faite après 10 ans d'utilisation"*

Les élèves avaient donc noté qu'aucune étude n'aurait été menée jusqu'à ce jour sur les effets des nanoparticules [2].

Enfin, l'élève-actrice représentant la Fondation Sciences Citoyennes achève sa réplique en déclarant :

> *"Euh on a beaucoup de pol, de pollution. Il y a de la pollution, on est tous les jours en contact par le textile, les cosmétiques euh, tout ça, et on ne sait pas du tout ce que ça peut faire et personne, les civils et tout, ils ne sont pas non plus au courant."*

Si l'on recherche des éléments en lien avec cette intervention dans le cahier de la Fondation Sciences Citoyennes, on trouve que cette organisation traite de l'utilisation déjà effective des nanoparticules dans les produits utilisés au quotidien. Elle écrit ainsi sur la première page de son cahier d'acteurs :

> *"Non seulement les citoyens n'ont pas la possibilité de décider en connaissance de cause, mais de plus, ils ignorent que des nanoproduits sont déjà présents dans leur vie quotidienne (dans l'alimentation, les textiles, les cosmétiques, les matériaux de construction...), commercialisés sans aucune analyse de leur toxicité pour l'environnement et la santé humaine." (FSC)*

L'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes reprend donc dans son intervention à l'oral l'idée que les nanotechnologies sont déjà utilisées, sans que l'on connaisse les impacts de ces utilisations et sans que les citoyens ne soient au courant. Elle ne prononce toutefois pas le mot de "nanotechnologies" ce qui donne un certain flou à son intervention. Ceci s'explique peut-être par le contenu des tableaux remplis par les élèves. Dans le tableau associé au thème "avis de la société", les élèves avaient en effet notamment écrit dans la case thèses et arguments :

> *"La société n'est pas informée. Beaucoup de personnes ne connaissent rien sur le sujet, ils ne savent pas qu'ils sont présent quotidiennement*
> *- cosmétiques*
> *- textiles*
> *- alimentation*
> *- matériaux de construction."*

2. Les élèves parlent d' *"aucune étude faite après 10 ans d'utilisation"*. On pourrait donc interpréter ici ce qu'elles ont écrit en estimant qu'elle se réfèrent seulement aux études à long terme. On peut aussi interpréter cette tournure en considérant que les élèves estiment qu'aucune étude n'a été réalisée depuis 10 ans que les nanotechnologies sont utilisées. Il nous semble que cette dernière interprétation qui convient le mieux compte tenu du fait que dans le cahier d'acteurs de la FSC, cette organisation discute des investissements de la France dans les nanotechnologies en écrivant qu'ils ont commencé *"depuis au moins 10 ans"*.

En écrivant *"ils sont présent"* les élèves étaient donc restées vagues. On ne sait pas à quoi renvoie ce pronom "ils" et il est possible que ceci explique en partie que l'élève-actrice soit restée assez floue dans cette dernière partie de son intervention.

Suite à cette prise de parole où l'élève-actrice a mentionné des applications des nanotechnologies dans les produits cosmétiques, la gestionnaire de débat sollicite l'élève-acteur représentant la FEBEA.

6.2.7 L'utilisation du nanodioxyde de titane dans les crèmes solaires

L'élève acteur représentant la FEBEA discute alors de l'utilisation du dioxyde de titane dans les crèmes solaires, en soulignant d'abord les propriétés puis l'absence de toxicité par voie cutanée de cet ingrédient.

103	Gestionnaire de débat	D'accord donc, voilà, elle a parlé des cosmétiques. On va demander à monsieur de la fédération des entreprises de la beauté de nous dire un peu ce que vous faites, comment vous utilisez les nanotechnologies et qu'est-ce que vous faites face à ces questions soulevées sur, par la toxicologie ? Allez-y
104	Thomas - FEBEA	Nous, on développons des, bah des produits de cosmétique et donc euh en ce moment enfin, nous avons euh cons, enfin éva... conçu
105	Gestionnaire de débat	Hunhun
106	Thomas - FEBEA	Une, une crème solaire à base de, de dioxyde de titane donc qui
107	Gestionnaire de débat	Une seule ou plusieurs ? Quand vous dites vous avez conçu, vous avez une seule ou c'est utilisé dans beaucoup de crèmes solaires ?
108	Thomas - FEBEA	Dans beaucoup de crèmes solaires.
109	Gestionnaire de débat	Dans beaucoup de crèmes solaires... Oui allez-y.
110	Thomas - FEBEA	Donc elle est invisible, donc il n'y a pas de couleur comme la couleur blanche des crèmes solaires d'avant et elle empêche les rayons UV de s'infiltrer dans la peau.
111	Gestionnaire de débat	Hunhun
112	Thomas - FEBEA	Et en fait elles ne sont pas nocives par voie cutanée.
113	Gestionnaire de débat	Oui, juste une petite précision, en quoi c'est en rapport avec les nanotechnologies ces crèmes solaires ? Qu'est-ce qu'elles ont de particulier ? *(Thomas se mord les lèvres)* Qu'est-ce qu'elles utilisent ? Pourquoi ça se rapporte aux nanotechnologies ? *(Thomas représentant la FEBEA garde les lèvres closes)* Quel ingrédient vous mettez en particulier ? ...Tout à l'heure vous nous avez dit que vous travailliez notamment sur l'utilisation du dioxyde de titane... Qu'est-ce que *(Thomas la regarde, l'air embêté)* Ouais ? Vous avez des choses à dire ? Pourquoi c'est une nanotechnologie ? *(Thomas reste silencieux)* Si vous ne vous souvenez pas, on pourra y revenir après. Vous pouvez donc nous dire qu'est-ce que vous, qu'est-ce que vous en faites et pourquoi vous n'avez pas de problème sur la santé ?
114	Thomas - FEBEA	Euh... (*Quelques élèves rient*)

Au travers de la réplique 104, l'élève-acteur met en avant les innovations que l'industrie cosmétique développe. Il répond donc à la sollicitation de la gestionnaire de débat en faisant écho à l'une des premières choses que la FEBEA souligne dans sa contribution au débat public. Sur la première page du cahier d'acteurs de cette fédération d'industriels on peut en effet lire :

> *"L'Industrie cosmétique a mis au point différentes innovations issues des nanotechnologies. Il s'agit de nanodispersions liquides et de nanomatériaux." (FEBEA)*

Parmi ces innovations, la FEBEA cite d'ailleurs l'emploi du dioxyde de titane sous forme nano dans les crèmes solaires :

> *"Parmi les nanomatériaux, le plus connu et le plus utilisé est le dioxyde de titane (TiO2).*
>
> *Ce filtre minéral est connu pour sa capacité à réfléchir, disperser et absorber les rayons ultra-violets (UV) et à protéger contre les effets délétères induits par une exposition prolongée au soleil. Il est utilisé dans les produits de protection solaire sous la forme de nano dioxyde de titane depuis bientôt 20 ans." (FEBEA)*

Dans son intervention orale, l'élève-acteur, lui, explique que l'industrie cosmétique a conçu :

> *"une crème solaire à base de, de dioxyde de titane"*

Il précise ensuite les propriétés que met en avant la FEBEA :

> *"Donc elle est invisible, donc il n'y a pas de couleur comme la couleur blanche des crèmes solaires d'avant et elle empêche les rayons UV de s'infiltrer dans la peau."*

Il rapporte donc certains des éléments contenus dans le cahier d'acteurs qu'il a étudié, mais à la différence de la FEBEA, il ne précise pas que le dioxyde de titane couramment utilisé dans les crèmes solaires est sous forme nanométrique.

L'élève-acteur met alors en avant l'absence de toxicité des crèmes solaires contenant du dioxyde de titane par application sur la peau en affirmant :

> *"Et en fait elles ne sont pas nocives par voie cutanée."*

Cette absence de nocivité des crèmes solaires contenant du TiO_2 est également un élément sur lequel insiste la FEBEA. Ce syndicat professionnel fournit d'ailleurs un peu plus de détails pour étayer cette déclaration et précise également que son attention est plus précisément focalisée sur le nano-TiO_2.

> *"**Absence de passage transcutané du nano TiO2***
>
> *Une vingtaine d'études de la pénétration percutanée du TiO2 sous forme nanométrique dont celles menées dans le cadre du programme européen de recherche NANODERM, ont montré que le nano-TiO2 ne pénètre pas dans les couches vivantes de la peau. Ces études ont été conduites sur différents modèles in vivo ou in vitro, après administration unique ou réitérée, sur peau saine ou altérée, en utilisant de nombreux supports formulatoires différents, sur différents types de TiO2 (enrobé ou non, forme et taille des cristaux différents), et par des acteurs aussi différents que des industriels, des équipes de recherche académiques et des agences gouvernementales." (FEBEA)*

L'élève suit donc la ligne défendue par la FEBEA dans son cahier d'acteurs mais en omettant de préciser que le propos de cette fédération est centré sur le dioxyde de titane nano.

La gestionnaire de débat lui demande alors, en quoi le discours qu'il vient de tenir se rapporte aux nanotechnologies. Cette relance semble soudain déstabiliser l'élève-acteur et au lieu d'hasarder une réponse, il se tait. L'élève et son groupe avaient pourtant bien noté que le TiO_2 auquel faisait référence la FEBEA faisait partie des nanomatériaux. Sur l'une des fiches qu'ils avaient remplies, associé au thème : "les nanotechnologies en cosmétiques" ils avaient ainsi écrit :

"Thèse : les nanotechnologies favorisent le développement de nouveaux produits cosmétiques.

Arguments :

- l'importance des nanoformulations dans les produits de beauté

"les nano-émulsions offrent la possibilité d'avoir des préparation à forte teneur en huile (huile nutritives dans les produits capillaires)"

- Les nanomatériaux : une protection pour l'HOMME ex : les crèmes solaires avec le TiO_2.

"sa capacité à réfléchir, disperser et absorber les UV"".

De plus la mention de nano-TiO_2 figure aussi sur l'une des autres fiches qu'ils avaient remplies :

"Thèse : Le dioxyde de titane : dangereux pour l'HOMME

Arguments :

- le TiO_2 pas nocif par voie cutannée.

ex : "le nano-TiO_2 ne pénètre pas dans les couches vivantes de la peau"

ex : "le dioxyde de titane pourrait être cancérigène s'il entre en contact avec les cellules pulmonaires"

- Le TiO_2 nocif pour l'animal mais moins pour l'HOMME.

ex : "montrent la survenue de cancers chez l'animal. A l'inverse, [...] chez l'Homme, [...] ne montrent pas de surmortalité par cancer."

Les élèves avaient donc noté qu'il s'agissait de nano-TiO_2. Ils avaient par ailleurs relevé par écrit tous les éléments que l'élève-acteur a énoncé ici à dans son intervention orale.

C'est ensuite au tour de l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste d'intervenir.

6.2.8 Nanotechnologies et pollution

Lors de sa précédente intervention, l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste avait présenté certaines des perspectives ouvertes par les nanotechnologies pour la médecine, citant notamment les nano-implants permettant d'améliorer les capacités humaines. Elle demande cette fois-ci la parole pour parler des possibilités offertes par les nanotechnologies pour la protection de l'environnement.

115	Gestionnaire de débat	Si vous voulez, on va prendre, il y a madame des transhumanistes qui avait demandé la parole et puis on reviendra avec vous.
116	Alice - AFT	Euh nous, c'était euh
117	Gestionnaire de débat	*(à Thomas)* Vous pourrez revenir là-dessus.
118	Alice - AFT	Sur la question de la pollution, euh donc grâce aux nanotechnologies on a des projets de dépollution des hydrocarbures.
119	Gestionnaire de débat	D'accord
120	Alice - AFT	Donc même s'il y a des problèmes de pollution on... Les nanotechnologies permettraient ... donc de dépolluer.

L'exemple des projets de dépollution des hydrocarbures que cite l'élève apparaît bien dans le cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste. Dans un paragraphe intitulé *"La révolution nanotechnologique tend à des transformations radicales"*, il est écrit :

"Pour ce qui est de la Nature, c'est la définition même des Nanotechnologies qui le précise, puisqu'il est question de techniques (transformation de la nature par

la main de l'homme) intervenant à l'échelle moléculaire ou atomique. Les matériaux nouvellement créés n'existent pas à l'État naturel. Ils possèdent des propriétés inouïes. Mais ce qui renforce leur aspect révolutionnaire, ce peut être, selon les matériaux ou les techniques, leur capacité à modifier le «naturel» qui les environne par leur propre fait. Dans le cas des matériaux, nous pourrions citer - côté optimiste, les projets de dépollution des hydrocarbures, ou - côté catastrophiste, le scénario de science-fiction de la "gelée grise" auto-répliquante à l'infini et susceptible de tout envahir." (AFT)

Les élèves n'avaient par contre pas relevé cet exemple. À propos d'intervention sur la "Nature", elles avaient seulement noté :

"- modification sur la nature : "transformation de la nature par la main de l'hô intervenant à l'échelle moléculaire ou atomique".
matériaux créés avec propriétés inouïes et capacité à modifier le "naturel"."

L'élève-actrice représentant l'Association Française Transhumaniste intervient donc ici pour faire valoir les avantages des nanotechnologies pour lutter contre la pollution en utilisant un exemple présent dans le cahier d'acteurs qu'elle avait étudié en préparation. Dans ce document, cet exemple n'était néanmoins pas mobilisé pour vanter les avancées permises par les nanotechnologies pour protéger l'environnement mais plutôt comme une illustration du fait que les nanotechnologies et en particulier les nouveaux matériaux contribuaient à modifier le "naturel".

La gestionnaire de débat sollicite alors l'élève représentant les Amis de la Terre pour qu'elle puisse s'exprimer sur les questions d'environnement, discutées dans son cahier d'acteurs.

6.2.9 Toxicité et écotoxicité des nanoparticules

Là, bien que la discussion vienne de porter sur des questions environnementales, l'élève-actrice représentant les Amis de la Terre centre d'abord plutôt son intervention sur les questions de toxicité des nanoparticules.

121	Gestionnaire de débat	Alors peut-être qu'on peut revenir à madame des Amis de la Terre, qui avait soulevé la question donc d'abord de la toxicol... de la toxicité des nanoparticules. Vous êtes une association environnementale, monsieur (*désignant Arnaud représentant le CNRS et le CEA*) a dit qu'il y avait des instituts qui travaillaient sur la pollution. Donc qu'est-ce que vous avez à dire sur ces questions ?
122	Miriam - AdlT	Donc ben... Sur la pollution ou sur la toxicité ?
123	Gestionnaire de débat	Les deux ou comme vous voulez...
124	Miriam - AdlT	Pour en revenir à la santé, donc euh, on a toujours des risques liés aux... notamment aux nanoparticules. Donc que ce soit par inhalation, on l'a vu chez le rat par exemple, donc les nanoparticules de dioxyde de magné, de mangé, de manganèse, inhalées par le rat se retrouvent dans les zones profondes du cerveau et provoquent un stress euh, oxydatif. Donc après qui peut dégrégé... dégé... bon
125	Gestionnaire de débat	Donc certaines nanoparticules comme le dioxyde de manganèse ont, rentrent dans le cerveau ? C'est ça que vous nous dites ?
126	Miriam - AdlT	Voilà
127	Gestionnaire de débat	Dans des études effectuées sur le rat

128	Miriam - AdlT	sur la rat voilà. Et il y a d'autres moyens de transmission, comme par contact et par l'ingestion.
129	Gestionnaire de débat	hunhun
130	Miriam - AdlT	Qui peuvent nuire à la santé.
131	Gestionnaire de débat	D'accord, donc il y a des effets sur la santé
132	Miriam - AdlT	Voilà
133	Gestionnaire de débat	Vous nous apportez des éléments là-dessus. Et sur *(Serena représentant la Fondation Sciences Citoyennes lève la main)...* Oui, on va prendre votre intervention, juste sur l'environnement, vous aviez quelques éléments à apporter aussi en particulier, puisque madame parlait de membranes qui pourraient servir à dépolluer l'eau en disant que éventuellement ça pourrait avoir aussi des effets bénéfiques sur l'environnement.
134	Miriam - AdlT	Bah nous on a vu chez certains poissons comme le poisson... comme la truite arc-en-ciel et... un autre poisson qui a, qui avalaient des substances dans l'eau.
135	Gestionnaire de débat	D'accord, des substances sous quelle forme ? C'est-à-dire ? Qui contiennent quoi comme type de nanotechnologies ? *(Miriam représentant les AdlT a un sourire)* Est-ce que des...
136	Miriam - AdlT	des nanoparticules.
137	Gestionnaire de débat	Nanoparticules d'accord.
138	Miriam - AdlT	Qui peuvent se fixer et transporter des quantités importantes de substances contaminantes. Donc l'arsenic, le cadminium... le cadmium.
139	Gestionnaire de débat	hunhun, le cadmium, d'accord. Et oui voilà merci. Madame de la Fondation Sciences Citoyennes vous aviez demandé la parole euh

Dans la réplique 124, l'élève-actrice représentant les Amis de la Terre commence par faire écho à l'extrait du cahier d'acteurs revenant sur des études mentionnées dans la revue toxicological sciences que citaient les Amis de la Terre. Elle déclare ainsi :

> *"Pour en revenir à la santé, donc euh, on a toujours des risques liés aux... notamment aux nanoparticules. Donc que ce soit par inhalation, on l'a vu chez le rat par exemple, donc les nanoparticules de dioxyde de magné, de mangé, de manganèse, inhalées par le rat se retrouvent dans les zones profondes du cerveau et provoquent un stress euh, oxydatif. Donc après qui peut dégrégé... dégé... bon"*

À ce propos, comme nous l'avons déjà cité, les Amis de la Terre écrivaient dans leur cahier d'acteurs :

> ***Des risques sanitaires et environnementaux négligés***
>
> *À l'échelle nanométrique, les particules ont des comportements inattendus et des effets toxicologiques inconnus. En février 2008, la revue Toxicological Sciences ("Nanotechnology Safety concerns", 101-2008) examinait de façon objective les études existantes, retenant les risques pour la santé auxquels les nanoparticules nous exposent en pénétrant dans le corps.*
>
> ***Par inhalation** : les nanoparticules de dioxyde de manganèse, inhalées par le rat, se retrouvent dans les zones profondes du cerveau, provoquant un stress*

oxydatif qui peut altérer gravement les neurones et favoriser les maladies neurodégénératives.

Par contact : *une peau irritée ou présentant une plaie semble ne pas être une barrière efficace. Alors que des nanoparticules sont utilisées depuis plusieurs années dans les cosmétiques, comme par exemple le dioxyde de titane dans les crèmes solaires, on a "oublié" par exemple - ce qui est un comble ! - que le TiO est photo dépendant toxique et qu'il peut provoquer des cancers de la peau et du colon !*

Enfin, l'ingestion *: chez le rat, on a constaté que, via l'intestin, les nanoparticules touchent le système immunitaire. Le tissu lymphoïde déclenche des réactions de défense exacerbées entraînant des réponses inflammatoires et un stress cellulaire avec son panel d'altérations susceptibles de provoquer des maladies graves - cancers, allergies, troubles neurodégénératifs. Ces dangers entraineront à terme un coût social et humain largement négligé par les firmes qui commercialisent déjà ces nanoparticules. (AdlT)*

L'élève reprend donc précisément certains éléments du cahiers d'acteurs, mais elle cherche un peu ses mots au moment de donner des détails sur les effets des nanoparticules de manganèse inhalées par des rongeurs. Elle intervient ensuite plus succinctement dans les répliques suivantes, déclarant par exemple dans la réplique 128 :

> *"Et il y a d'autres moyens de transmission, comme par contact et par l'ingestion."*

L'élève-actrice parle donc de *"transmission"* et non *"d'exposition"*.

Elle revient ensuite sur les conséquences pour l'environnement de l'utilisation de certaines nanoparticules. Elle commence par faire allusion aux conséquences sur la santé de certaines espèces de poisson de la pollution des eaux par des nanoparticules. Elle déclare plus exactement que certaines nanoparticules avalées par la truite arc-en-ciel et *"un autre poisson"*

> *"peuvent se fixer et transporter des quantités importantes de substances contaminantes. Donc l'arsenic, le cadminium... le cadmium."*

Ici, elle prend appui sur ce qu'elle et son groupe avaient noté en préparation du jeu de rôle, mais en s'écartant de ce qu'elles avaient exactement écrit. Dans le tableau correspondant au thème qu'elles ont intitulé *"Risque environementaux donc au animaux qui ingère les produits"*, elles avaient en effet relevé :

> *"Des risques trop négligés environementaux donc risque pour les animaux ?*
> *Ex = Troubles des capacités respiratoires chez la truite arc-en-ciel*
> *Altérations du développement embryonnaire chez le poisson zèbre car certaines nanoparticules transportent des substances contaminantes et donc peut endomager la chaîne alimentaire"*

D'ailleurs à propos des conséquences pour l'environnement de l'utilisation des nanoparticules, on peut lire dans le cahier des Amis de la Terre :

> *"**Des études trop lacunaires sur des risques environnementaux pourtant avérés***
> *L'Observatoire des micro et nanotechnologies soulevait déjà des données préoccupantes en février 2008 : "Des altérations du développement embryonnaire ont été mises en évidence chez le poisson zèbre, ainsi que des troubles des capacités respiratoires chez la truite arc-en-ciel [...] certaines nanoparticules peuvent fixer et transporter des quantités importantes de substances contaminantes (arsenic, cadmium, etc.) et provoquer leur accumulation dans l'organisme de poissons comme la carpe, donc dans la chaîne alimentaire"." (AdlT)*

Ainsi, dans les répliques 134 et 138 l'élève représentant les Amis de la Terre s'appuie sur des éléments issus du cahier d'acteurs pour discuter des effets de certaines nanoparticules sur l'environnement. Elle les met cependant en lien d'une manière différente de celle qui est présentée dans le cahier d'acteurs. Au lieu de parler des problèmes de troubles respiratoires chez la truite arc-en-ciel, elle dit juste que ce poisson avale les nanoparticules présentes dans l'eau, puis ajoute que ces nanoparticules *"peuvent se fixer et transporter des quantités importantes de substances contaminantes".*

Suite à cette prise de parole de l'élève-actrice représentant les Amis de la Terre, l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes se manifeste. Elle intervient elle aussi sur le thème des questions sanitaires et environnementales posées par l'utilisation des nanoparticules. De nouveau, elle demande que l'effort de recherche sur les nanoparticules soit renforcé.

139	Gestionnaire de débat	Hunhun, le cadmium, d'accord. Et oui voilà merci. Madame de la Fondation Sciences Citoyennes vous aviez demandé la parole euh
140	Serena - FSC	Moi je suis tout à fait d'accord avec euh, euh *(sourire, elle désigne Miriam représentant les Amis de la Terre)*
141	Gestionnaire de débat	Les Amis de la Terre oui.
142	Serena - FSC	Les Amis de la Terre, car les nanoparticules ne répondent pas aux lois de la physique classique, il faut avoir de plus de recherches pour bien savoir leurs lois et tout et on promeut un renforcement *(La fin de sa phrase est incompréhensible, car sa voix est couverte par des bruits parasites venant du couloir)*
143	Gestionnaire de débat	Donc vous allez dans le même sens que les Amis de la Terre
144	Serena - FSC	Oui
145	Gestionnaire de débat	Dire qu'il faut développer des recherches. Oui allez-y ?

L'élève-actrice représentant la Fondation Sciences Citoyennes argumente sa prise de position en faveur d'un renforcement des recherches sur la toxicité en mobilisant des éléments contenus dans le cahier d'acteurs qu'elle a étudié. La Fondation Sciences Citoyennes a en effet écrit :

> *"Puisque les nanoparticules ne répondent pas aux lois de la physique classique, le principe d'équivalence en substance ne peut prévaloir : de nouvelles méthodes d'évaluation des risques, [et] notamment de la toxicité et de la dissémination de ces substances dans l'environnement, deviennent indispensables." (FSC)*

L'élève fait donc écho à l'une des prémisses de l'argumentation de la Fondation Sciences Citoyennes, sans toutefois expliciter l'intégralité de son raisonnement.

Dans les fiches que les élèves ont remplies, cette référence au comportement singulier des nanoparticules rendant nécessaire de nouvelles études sur leur toxicité apparaît aussi, même si l'élève n'a pas repris ce que son groupe avait écrit. Dans la case associée au thème que les élèves avaient intitulé *"Financements et lieux",* elles avaient en effet noté :

> *"Financement de la première création en 98 → minatec*
>
> *Les financements sont crée en fonction des lieux, afin d'investir dans des milieux qui offrent des possibilité plus importantes et des avantages. ex : Grenoble.*
>
> *Ils financent pour les devellopement et non pour couvrir les risques, la science humaine (puisque les nanos repondent pas aux lois de la physique).*
>
> *Pas de budjet dans les recherches et la protection.*
>
> *Tout pour privé, pour bénéfices."*

En préparation les élèves avaient ainsi relevé des éléments qui nous semblent inspirés du contenu du cahier d'acteurs sans en être toujours la reproduction fidèle. Ainsi, lorsqu'elles écrivent :

> "*Ils financent pour les devellopement et non pour couvrir les risques, la science humaine (puisque les nanos repondent pas aux lois de la physique)*"

l'idée selon laquelle "les nanos ne répondent pas aux lois de la physique" notée par les élèves, déforme le contenu du cahier d'acteurs. Cependant l'élève-actrice représentant la Fondation Sciences Citoyennes ne reproduit pas ce glissement et colle finalement sur ce point, au discours de la Fondation Sciences Citoyennes dans son cahier d'acteurs. Elle demande en effet un renforcement des recherches sur les nanoparticules puisque leurs comportements ne répondent pas aux lois de la physique classique.

Enfin, à ce stade de la discussion, une autre élève demande la parole pour discuter de la toxicité des nanoparticules. Il s'agit de l'élève représentant l'INRS.

145	Gestionnaire de débat	Dire qu'il faut développer des recherches. Oui allez-y ?
146	Anna - INRS	Nous aussi parce que certaines des nanoparticules, bah, plus petites, elles s'infiltrent mieux dans le corps *(fin de la phrase inaudible).* Et elles peuvent franchir les barrières organiques les plus grosses
147	Gestionnaire de débat	Oui comme quoi par exemple ? Quand vous parlez de barrières organiques vous avez des...
148	Anna - INRS	Euh...
149	Gestionnaire de débat	Par exemple quand vous appliquez quelque chose, une lotion ou une crème solaire quelle sera la barrière organique ?
150	Anna - INRS	La peau.

L'idée que certaines nanoparticules pourraient franchir les barrières organiques répercutée dans la réplique 146 est bien présente dans le cahier d'acteurs de l'INRS où l'on peut lire :

> *"Il a été montré que certaines nanoparticules, dans des conditions expérimentales, sont capables de franchir les barrières biologiques et de migrer vers d'autres sites de l'organisme (phénomènes de translocation circulatoire et cérébrale). Les données toxicologiques actuelles, bien que parfois contradictoires, incitent par ailleurs à s'interroger sur les risques encourus, y compris pour des composés réputés inertes à plus grande échelle." (INRS)*

Néanmoins, certaines précisions de l'élève-actrice, comme celle sur les nanoparticules incriminées qu'elle qualifie de "plus petites" ou des barrières organiques concernées qu'elle restreint aux "plus grosses" n'apparaissent pas textuellement dans le cahier d'acteurs de l'INRS. L'élève s'appuie donc dans son intervention sur des éléments issus du cahier d'acteurs mais elle leur adjoint des détails qui ne figurent pas dans ce document.

Ces éléments n'apparaissent d'ailleurs pas non plus dans les fiches remplies par les élèves en préparation du jeu de rôle. Le terme de barrière organique n'a ainsi pas été relevé. Elles ont seulement écrit que :

> *- Les nanotechnologies s'infiltrent dans notre corps .*
> *"Trois voies d'exposition potentielles que sont les voies digestive, cutanée et respiratoire.""*

Suite à cette succession d'échanges sur les questions sanitaires et environnementales soulevées par l'utilisation des nanoparticules, la discussion s'oriente vers d'autres questionnements et aborde en particulier les questions d'amélioration de l'Humain.

6.2.10 Développement des nanotechnologies sans urgence et amélioration des capacités humaines

L'élève-actrice représentant l'Association Française Transhumaniste demande la parole et commence par souligner le fait que les nanotechnologies sont importantes mais ne doivent pas être développées de toute urgence au risque d'engendrer des problèmes sanitaires et environnementaux. Puis questionnée par la gestionnaire de débat sur les raisons qui motivent ce soutien des transhumanistes aux développements des nanotechnologies, elle souligne deux choses :

- les possibilités d'évolution pour l'homme ;
- l'amélioration de la vie et la prolongation de la vie des individus.

151	Gestionnaire de débat	La peau ouais... Ce genre de chose. Oui ?
152	Alice - AFT	Oui pour dire donc les problèmes pour la santé et tout çà euh... On dit que les nanotechnologies sont importantes mais on ne dit pas non plus qu'il faut tout de suite les faire. Donc il y a des recherches qui se font, donc justement par ces messieurs dames, sur les impacts sur l'environnement et la santé et donc on veut développer les nanotechnologies mais on n'oblige pas à ce que ce soit fait rapidement donc euh...
153	Gestionnaire de débat	Juste, donc vous, vous êtes pro-, vous êtes pour le développement des nanotechnologies. Vous pouvez nous donner quelques éléments sur les raisons qui vous poussent à développer ces nanotechnologies.
154	Alice - AFT	Euh oui, donc par exemple
155	Gestionnaire de débat	Pourquoi vous êtes pour ?
156	Alice - AFT	Pour l'évolution d'une, de l'homme et donc par exemple le... permettant d'améliorer ou de prolonger la vie des individus. D'améliorer les conditions de vie, dans les domaines scientifiques, philosophiques et artistiques et caetera.
157	Gestionnaire de débat	Hunhun
158	Alice - AFT	Euh...
159	Gestionnaire de débat	Quand vous dites prolonger la vie des individus, pourquoi vous dites çà ? Euh, quelle idée
160	Alice - AFT	L'espérance de vie.
161	Gestionnaire de débat	Oui et par quel moyen ? Quelle est l'idée qu'il y a derrière ? Vous pouvez nous expliquer un peu ? *(Alice sourit, visiblement ne sachant pas trop quoi répondre)* Pourquoi les nanotechnologies pourraient permettre ce genre de chose ? Quelle est l'idée derrière ? Je sais pas c'est grâce à la médecine ? Quelle type de médecine ?
162	Alice - AFT	Bah la nanomédecine
163	Gestionnaire de débat	Oui ? Et plus particulièrement, vous avez des...
164	Alice - AFT	Les nano implants

L'idée sous-tendant la réplique 152, à savoir que les nanotechnologies sont importantes

mais que leur développement ne doit pas être réalisé de toute urgence, fait allusion à un passage du cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste où il est écrit :

> *"**Bien entendu, pour longtemps encore, il est hautement probable que la pensée humaine demeure liée au corps - plus ou moins celui que nous connaissons. Il sera donc nécessaire de préserver les équilibres dont ces corps dépendent : une planète viable, une ou des sociétés humaines suffisamment stables et dynamiques à la fois.***
>
> *Notons bien qu'il n'y a pas urgence. L'Humanité n'est pas menacée au point d'avoir à tout prix besoin que ces technologies soient développées le plus vite possible quitte à prendre les plus grands risques." (AFT)*

Dans la réplique 152, l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste nous semble donc retranscrire précisément l'idée de ce passage du cahier d'acteurs qu'elle et les élèves de son groupe avaient d'ailleurs relevée en préparation. En revanche, elle ne reprend pas l'argumentation de l'Association Française Transhumaniste qui met en avant que la pensée humaine va vraisemblablement demeurer liée au corps pour bien des années et que par conséquent, il est indispensable de préserver aussi bien l'équilibre de la planète que celui de nos sociétés.

Suite à cette intervention, la gestionnaire de débat demande alors à l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste de mieux expliciter pourquoi l'association dont elle joue le rôle de porte parole est favorable aux développements des nanotechnologies. L'élève répond d'abord en déclarant que ça serait pour "l'évolution de l'homme". Elle restitue ici une idée contenue dans le cahier d'acteurs qu'elle a étudié puisqu'après avoir abordé les perspectives ouvertes en médecine, l'Association Française Transhumaniste envisage que les nanotechnologies puissent

> *"avoir un impact sur notre "humanité", au sens de caractéristique de l'individu humain, ainsi que sur l'Humanité, ensemble de ces individus." (AFT)*

Cette association semble par ailleurs accueillir favorablement cette évolution de l'Humain puisqu'elle dit aussi :

> *"Pour les Transhumanistes, il n'y a pas un "être" humain intemporel. Ils se placent donc radicalement dans le camp des partisans d'une "mutabilité" de l'Humain. Cette mutabilité de l'Humanité, sa capacité à modeler sa nature tout autant que la Nature constituent à la fois un des traits essentiels de son identité et une des conditions nécessaires à sa survie à long terme." (AFT)*

En estimant que les nanotechnologies pourraient permettre l'évolution de l'homme, l'élève actrice répercute donc certains positionnements qu'avance l'Association Française Transhumaniste.

L'élève représentant cette organisation argue ensuite que les nanotechnologies permettront d'améliorer et de prolonger la vie des individus. Là encore, elle utilise des éléments issus du cahier d'acteurs dans son intervention. Plus exactement, elle cite le petit paragraphe sur la première page du cahier d'acteurs où l'AFT se présente en expliquant qu'elle s'attache à :

> *""diffuser les thématiques et les questionnements relatifs aux technologies susceptibles d'améliorer et de prolonger la vie des individus et de l'espèce humaine. L'association se propose de promouvoir ces technologies, liées notamment au fonctionnement corporel et aux conditions de vie, aussi bien dans les domaines scientifiques, philosophiques, artistiques, etc." (extrait des statuts de l'association)". (AFT)*

Enfin, après cette intervention, la gestionnaire de débat essaie par quelques relances de faire expliciter en quoi les nanotechnologies seraient susceptibles d'améliorer ou de prolonger la vie des individus. L'élève représentant l'Association Française Transhumaniste répond alors

de manière laconique tout en faisant référence, d'abord à la nanomédecine, puis aux nano-implants, deux éléments mentionnés par l'AFT dans le paragraphe concernant les utilisations en médecine des nanotechnologies :

> *"Concernant l'Humain, les projets ne manquent pas non plus : Nanomédecine tout d'abord (thérapies pratiquées par des nanorobots injectés dans l'organisme, médicaments délivrés par nanocapsules) avec pour conséquence possible un allongement encore important de l'espérance de vie, mais bientôt, nano augmentations de tous ordres, grâce à des nano implants, afin d'améliorer les capacités motrices, perceptives ou cognitives du corps ou du cerveau. De telles perspectives amènent à s'interroger sur les conséquences, négatives ou positives d'une éventuelle diversification de l'espèce." (AFT)*

À ce moment du débat, l'élève représentant les Amis de la Terre, sollicite de nouveau la parole. Elle ne reprend pas le thème des possibilités d'évolution de l'humain. Elle intervient pour demander un moratoire.

6.2.11 Demande d'un moratoire

L'élève représentant les Amis de la Terre argumente sa demande de moratoire en soulignant qu'il faut du temps pour que les recherches en toxicologie permettent d'évaluer les effets des nanoparticules sur la santé et l'environnement.

165	Gestionnaire de débat	Oui. D'accord, euh madame des Amis de la Terre, vous aviez demandé voilà... et puis juste après, là on parle beaucoup de ce qui est applications à la médecine, peut-être que monsieur de l'Académie de Médecine voudra réintervenir là-dessus. On parle beaucoup d'aspects qui sont liés à l'environnement et à la santé... S'il y en a d'autres qui ont, par exemple monsieur de la CNIL vous ne vous êtes pas exprimés, si vous avez d'autres réalisations qui sont mises en jeu dont vous voulez parler, on reviendra vous reprendre, vos, votre intervention. *(à Miriam représentant les Amis de la Terre)* D'abord allez-y.
166	Miriam - AdlT	Nous la question qui nous intéresse le plus, c'est qu'il faut faire un moratoire en fait.
167	Gestionnaire de débat	Un moratoire ? C'est à dire euh ? Vous pouvez expliquer en deux mots ce que c'est euh ?
168	Miriam - AdlT	Stopper les recherches sur les nanotechnologies pour euh... Enfin, d'abord pour faire des recherches sur la toxicologie et avancer dans le sens de la santé.
169	Gestionnaire de débat	D'accord donc vous demandez en fait un arrêt des recherches, à la différence de madame (*montrant Alice représentant l'AFT*) qui dit il faut vraiment les développer pour
170	Miriam - AdlT	pour voir vraiment l'impact de... que ça a sur la santé et l'environnement.
171	Gestionnaire de débat	D'accord donc vous demandez un moratoire sur les nanotechnologies voilà. *(A Serena représentant la FSC)* Donc madame, exprimez vous sur ce point là et puis (*à Arnaud représentant le CNRS et le CEA qui lève la main*) après on reviendra à vous.

En introduisant sa recommandation de déclaration d'un moratoire par *"Nous la question qui nous intéresse le plus"* à la réplique 166, l'élève représentant les Amis de la Terre met en exergue cette préconisation. Cet accent appuyé sur l'importance d'imposer un moratoire se retrouve dans le cahier d'acteurs des Amis de la Terre. En effet, Dans la synthèse qui conclut ce document, il est écrit en caractères gras :

> ***"Pour les Amis de la Terre, un moratoire sur la recherche et la commercialisation des nanotechnologies est la seule attitude raisonnable."***

L'élève-actrice nous semble donc retranscrire à l'oral l'insistance des Amis de la Terre sur cette recommandation. L'élève ne précise d'abord pas l'objet de ce moratoire. Cette absence de précision se retrouve dans les fiches de préparation des élèves. Ainsi, elles ont noté simplement *"moratoire"* dans la case "recommandations que l'acteur formule" du tableau où elles consignaient les éléments relatifs au *"risque sur la santé"*. Quant aux recommandations qu'elles ont associées au thème *"risques environementaux"*, elles ont écrit :

> *"L'acteur cherche à nous faire réflechir. Il nous demande : "Faut-il attendre un - probable - scandale sanitaire ?"*
> *"Combien pour que nos dirigeants osent enfin demander un moratoire pour appliquer le principe de précaution ?""*

Toutefois, relancée par la gestionnaire de débat, l'élève-actrice précise ce qu'elle entend en demandant un moratoire. Il s'agit pour elle de "stopper les recherches". Les raisons que l'élève représentant les Amis de la Terre invoque pour justifier cette recommandation sont relatives aux problèmes sanitaires et environnementaux liés à l'utilisation des nanoparticules. En s'exprimant de la sorte, elle mobilise des éléments du cahier d'acteurs, en ne reprenant cependant qu'une partie des arguments des Amis de la Terre. Ceux-ci écrivent en effet :

> *"Avant de débattre du développement des produits contenant des nanoparticules, il est indispensable que tous les problèmes - sanitaires, environnementaux, sociaux, économiques, éthiques - que posent ces produits soient traités en amont et qu'une réponse y soit apportée dans le respect du principe de précaution." (AdlT)*

À l'oral, pour justifier la demande de moratoire des Amis de la Terre, l'élève-actrice ne fait donc pas écho aux problèmes "sociaux, économiques, éthiques" que cette association juge également nécessaire de régler avant de discuter du développement des nanotechnologies.

Cette demande de moratoire formulée par l'élève représentant les Amis de la Terre suscite plusieurs réactions. La première élève-actrice à réagir à cette proposition est l'élève-actrice représentant la FSC.

6.2.12 Information des citoyens, mise en débat et développement responsable

L'élève représentant la FSC commence par marquer son approbation. Elle se déclare favorable à un arrêt ou un ralentissement des recherches pour prendre le temps d'informer la population.

172	Serena - FSC	Je pense aussi que c'est bien qu'on stoppe un peu le développement, parce que ben personne n'est au courant, la société n'est pas au courant du tout, n'est pas informée. On met beaucoup d'argent alors qu'ils ne sont pas au courant, euh surtout qu'on les utilise tous les jours et tout. On modifie beaucoup de choses et ce qui serait po..., ce qui serait mieux qu'on les informe, qu'on... et personne... et il y a beaucoup de personnes qui ne sont pas du tout au courant de ce que c'est.

173	Gestionnaire de débat	D'accord. Mais là on est en train de mettre en débat les nanotechnologies. Alors je ne sais pas, il y a déjà eu un certain nombre de débats... Est-ce que vous avez des choses à dire sur ces débats ?
174	Serena - FSC	Oui, il y a déjà eu 17 débats, mais chaque débat a pour objectif de faire accepter les décisions et non, déjà prises, et non de les faire participer, les, la société.
175	Gestionnaire de débat	Donc vous estimez que ces débats ne sont pas des débats suffisants euh ?
176	Serena - FSC	Oui, il faudrait qu'on euh, demande les avis à la société.
177	Gestionnaire de débat	D'accord. Donc on nous a dit qu'il y avait déjà des développements des nanotechnologies et donc ces débats arrivent trop tard ? Qu'est-ce qui se passe ?
178	Serena - FSC	Oui, ça fait déjà 10 ans qu'on utilise ces nanotechnologies et alors que... et on fait des débats pile au moment où euh, c'est en plein milieu du développement et il faudrait justement arrêter, stopper pour faire voir... permettre ces débats, qui se posent et pour mieux financer l'argent que ça a.

En demandant que "l'on stoppe un peu les recherches", l'élève verbalise une prise de position que les élèves n'avaient pas fait apparaître dans leurs fiches de préparation du jeu de rôle. Elle fait cependant écho à ce qu'on peut lire dans le cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes puisque cette organisation se déclare en faveur d'un moratoire sur la recherche appliquée et la commercialisation.

> "***Propositions***
> *1. Moratoire sur la recherche appliquée et la commercialisation des nanoproduits" (FSC)*

En recommandant de *"stopper un peu le développement"*, l'élève-actrice reprend donc l'idée de moratoire, sans cependant préciser sur quoi il porterait. Elle argumente cette demande d'un arrêt des recherches en pointant l'absence d'information de la société alors même que les investissements engagés sont importants. À ce propos, on peut lire dans le cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes :

> *"Les moyens financiers investis dans l'unique but d'accélérer le développement de ces technologies sont dépensés de façon unilatérale, ce qui exclut de facto tout débat public sur les approches alternatives des mêmes problèmes et toute réflexion globale. Non seulement les citoyens n'ont pas la possibilité de décider en connaissance de cause, mais de plus, ils ignorent que des nanoproduits sont déjà présents dans leur vie quotidienne (dans l'alimentation, les textiles, les cosmétiques, les matériaux de construction...), commercialisés sans aucune analyse de leur toxicité pour l'environnement et la santé humaine." (FSC)*

La Fondation Sciences Citoyennes déplore donc aussi ce problème d'information de tout un chacun, mais en le mettant en perspective avec ses conséquences sur l'impossibilité pour les citoyens d'influer sur les décisions, ce qui n'apparaît pas de façon explicite dans la réplique 174 de l'élève. Elle dénonce en effet seulement l'absence d'information de la population sans indiquer clairement que les citoyens devraient pouvoir participer aux choix d'orientations de recherche.

Ce déficit d'information avait par ailleurs aussi été relevé par les élèves en préparation du jeu de rôle. Dans le tableau associé au thème qu'elles ont intitulé "avis de la société", elles ont ainsi écrit dans la case thèses et arguments :

"La société n'est pas informée. Beaucoup de personnes ne connaissent rien sur le sujet, ils ne savent pas qu'ils sont présent quotidiennement

- cosmétiques

- textiles

- alimentation

- matériaux de construction.

Le débat a pour objectif de faire accepter les décisions déjà prise et non de les faire participer.

- modifier les systèmes de relations sociale → sans decidé"

Les élèves ont donc bien noté que la société n'était pas informée. Elles n'ont par contre pas vraiment mis en regard, dans les fiches remplies en préparation, l'absence d'information des citoyens avec l'importance des investissements engagés ou avec le problème de l'appropriation citoyenne des choix scientifiques et technologiques.

Suite à cette intervention, la gestionnaire de la discussion relance l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes en l'incitant à s'exprimer sur les mises en débat des nanotechnologies. L'élève-actrice répond en déclarant :

"Oui, il y a déjà eu 17 débats, mais chaque débat a pour objectif de faire accepter les décisions et non, déjà prises, et non de les faire participer, les, la société."

La mention d'un nombre de débats ne figure pas dans les fiches remplies par les élèves étudiant le cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes à la CNDP. En revanche comme nous venons de le citer plus haut, les élèves ont écrit en préparation que :

"Le débat a pour objectif de faire accepter les décisions déjà prise et non de les faire participer."

L'élève-actrice représentant la Fondation Sciences Citoyennes au nom de son groupe utilise donc ici à l'oral un argument qu'elle et ses camarades avaient noté sur leurs fiches en préparation.

Le chiffre de 17 débats ne sort de plus pas de nulle part. Il est mentionné par la Fondation Sciences Citoyennes lorsqu'elle critique le cycle de débats publics organisé par la CNDP. Cette association écrit alors

"17 réunions publiques dans de grandes villes françaises. La liste des villes qui accueillent les réunions donne l'impression que le point d'entrée des débats était plutôt choisi en fonction de la spécialisation de la recherche et des industries locales dans les nanoparticules. Il suffit de prendre l'exemple de Toulouse, Lille, Besançon, Grenoble et Orsay (Paris), qui sont les cinq centres du réseau national pour la Recherche Technologique de Base (RTB) focalisés sur les nanosciences et nanotechnologies. Sur l'agenda des débats dans chacune de ces villes figurent des thèmes portés par ces grandes centrales - les technologies convergentes sont le point fort à Orsay (Paris), le textile est un grand classique à Lille, etc. Il est compréhensible de mener des débats thématiques là où sont les experts de la question et de les inviter à intervenir. Néanmoins, est-ce que ces experts ne risquent pas de défendre le domaine qui les rémunère pour leurs recherches ? Y aura-t-il d'autres experts invités pour les contredire afin d'assurer une approche pluraliste et contradictoire ? Est-ce que les expertises non techniques et les expertises citoyennes auront la place qu'elles méritent ?

*⇒ **Le débat risque de se réduire à une communication d'acceptabilité, à un satisfecit sans recul critique.**" (FSC)*

L'idée que les débats publics sur les nanotechnologies tels qu'ils ont été organisés se résument à une manœuvre d'acceptabilité, exprimée par l'élève-actrice dans la réplique 174, se retrouve

dans cet extrait du cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes. D'ailleurs à un autre endroit on peut lire :

> "⇒***Ce débat est une opération de communication orientée vers la promotion du développement des nanotechnologies.*** *" (FSC)*

Interrogée sur les mises en débat sur les nanotechnologies, l'élève-actrice représentant la Fondation Sciences Citoyennes reprend donc la critique que cette organisation formule sur l'absence de réelle visée participative de ces espaces de discussion. Elle ne précise cependant pas que les débats qu'elle critique sont ceux organisés par la CNDP.

La gestionnaire de débat la relance alors.

L'élève profite de son intervention pour affirmer la nécessité de consulter les citoyens :

> *"Oui, il faudrait qu'on euh, demande les avis à la société."*

Cette recommandation figure dans l'un des tableaux rempli par les élèves. Elles lui ont d'ailleurs adjoint une précision que l'élève-actrice ne cite pas à l'oral :

> *"Informer la population pour avoir des avis (une partie minime de la population)"*

La nécessité de donner les moyens aux citoyens de donner leur avis sur les choix scientifiques et technologiques est une idée que l'on retrouve dans le cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes. Sur la première des quatre pages de ce cahier on peut lire :

> *"N'est-ce pas à la société de faire des choix réfléchis sur son évolution dans des contextes environnementaux et sociaux en profond bouleversement, donc de décider si elle veut voir se développer telle technologie, et si oui, à quel point, dans quelle finalité et dans quel cadre éthiquement délimité ? Cette question doit être le point de départ explicite de débats publics, de conventions de citoyens qui examinent la problématique des nanoproduits dans sa globalité, c'est-à-dire aussi leur utilité sociale, leurs conséquences sociétales, leurs rapport coût/efficacité et bénéfices/risques. Aborder la question dans son ensemble permettrait de faire des comparaisons avec des technologies alternatives et des approches non technologiques, afin de voir si ce sont vraiment les nanos qui apportent les meilleures réponses, si ces technologies représentent un progrès réel, et non seulement une illusion de discours. Ce document critique à la fois le débat tel qu'il est mis en place actuellement et les choix stratégiques qui conduisent aux nanotechnologies, avec l'absence d'une vraie politique de recherche d'évaluation des risques et d'étude des alternatives." (FSC)*

Comme le montre cet extrait, la Fondation Sciences Citoyennes souligne fermement sa volonté que les débats n'aient pas seulement pour objectif de permettre aux citoyens de formuler des avis. Cette organisation souhaite que la "société" puisse réellement influer sur les orientations scientifiques et technologiques. Il est toutefois difficile de trancher si c'est ce que l'élève-actrice souhaite afficher lorsqu'elle voudrait qu'on *"demande les avis à la société".*

La Fondation Sciences Citoyennes discute par ailleurs dans son cahier de l'indigence des procédures de débats de la CNDP pour évaluer l'avis des citoyens :

> *"Le débat public ne permet pas d'évaluer objectivement l'avis de la population, car il cumule des opinions plus ou moins informées représentant souvent des intérêts particuliers incompatibles avec l'intérêt général. À l'évidence, pour qu'il soit argumenté, l'avis des citoyens doit se nourrir des informations les plus complètes possibles. La convention de citoyens, qui combine une formation préalable (où les citoyens étudient) avec une intervention active (où les citoyens interrogent) et un positionnement collectif (où les citoyens discutent en interne puis avisent), apparaît aujourd'hui, et après de nombreuses expériences mondiales, capable de*

réaliser ces objectifs. Le prix à payer pour cet exercice démocratique est la nécessité logistique de le limiter à un petit nombre de citoyens, tirés au sort, plutôt que de consulter la population entière.

*=> **Le gouvernement veut seulement prendre acte des avis produits par le débat public. Il n'y a pas d'obligation d'y répondre ou de les suivre.**" (FSC)*

On retrouve dans cet extrait l'idée d'une limitation du nombre des citoyens consultés pour permettre une réelle information des citoyens et la formulation d'avis dûment informés. C'est sans doute ce passage qu'ont retraduit les élèves lorsqu'elles ont écrit sur leur fiches de préparation :

"Informer la population pour avoir des avis (une partie minime de la population)"

Elles n'ont cependant pas retranscrit les raisons qu'avancent la Fondation Sciences Citoyennes pour motiver ce choix de limiter le nombre des citoyens participant à des conventions de citoyens.

Enfin la gestionnaire de débat interroge une dernière fois l'élève-actrice représentant la Fondation Sciences Citoyennes en l'amenant à donner d'autres arguments pour étayer sa critique des débats de la CNDP. L'élève répond alors :

"Oui, ça fait déjà 10 ans qu'on utilise ces nanotechnologies et alors que... et on fait des débats pile au moment où euh, c'est en plein milieu du développement"

La critique consistant à pointer l'arrivée tardive du débat, alors que les financements sont déjà engagés est effectivement mise en avant par la Fondation Sciences Citoyennes. Cette organisation indique par exemple :

Le débat arrive à un moment où la France a investi dans le développement des nanotechnologies depuis au moins une décennie.

Les financements publics massifs aux niveaux national et régionaux, le nombre croissant de laboratoires académiques et industriels, la création de multiples structures scientifiques et industrielles - ces exemples montrent que les nanotechnologies ne sont plus dans le berceau :

> création du pôle d'innovation en micro- et nanotechnologies à Grenoble, Minatec, par le CEA en 1998 ;

> création du Réseau de Recherche en Micro et Nanotechnologies (RMNT) en 1999 ;

> mise en place d'une infrastructure pour les nanotechnologies (salles blanches et équipement) appelée réseau national de grandes centrales de technologies pour la Recherche Technologique de Base (RTB) en 2003 ;

> création de cinq centres régionaux de compétences (C'Nano) en 2004/2005 ;

> création de l'Observatoire des micro- et nanotechnologies (OMNT) qui assure une veille stratégique par le CEA et le CNRS en 2005 ;"

> mise en place de plusieurs pôles de compétitivité fortement impliqués dans les nanotechnologies ;

> financement du programme NanoInnov à Paris, Grenoble et Toulouse pour 70 millions d'euros (2009) etc.

*⇒ **Ce débat aurait dû se tenir il y a au moins dix ans.**" (FSC)*

Poussée par la gestionnaire de débat, l'élève-actrice représentant la Fondation Sciences Citoyennes fait donc écho au contenu du cahier d'acteurs en affirmant que le débat arrive alors que les développements des nanotechnologies sont déjà engagés et en avançant le chiffre de 10 ans d'utilisation des nanotechnologies.

Ces éléments issus du cahier d'acteurs que l'élève introduit dans le jeu de rôle, n'apparaissaient par ailleurs pas explicitement dans les fiches remplies par elle et son groupe. Elles avaient toutefois rempli un tableau associé au thème "financements et lieux" où elles avaient écrit :

> *"Financement de la 1ère création en 98 → minatec*
> *Les financements sont crée en fonction des lieux, afin d'investir dans des milieux qui offrent des possibilités plus importantes et des avantages.*
> *ex : Grenoble*
> *Ils financent pour les devellopement et non pour couvrir les risques, la science humaine (puisque les nanos répondent pas aux lois de la physique)*
> *Pas de budjet dans les recherches et la protection ;*
> *Tout pour privé, pour bénéfices"*

L'idée que l'engagement dans des projets de développements des nanotechnologies remonte à plus d'une décennie était donc apparent. Néanmoins les élèves n'avaient pas souligné par écrit comme l'élève-actrice le fait à l'oral, que c'est à ce moment qu'auraient dû se tenir les débats.

Enfin, l'élève termine sa réplique en disant :

> *" et il faudrait justement arrêter, stopper pour faire voir... permettre ces débats, qui se posent et pour mieux financer l'argent que ça a."*

Elle conclut donc son intervention en réaffirmant le point de vue exprimé au début de sa prise de parole : il faudrait stopper le développement des nanotechnologies, mais en apportant des arguments différents de ceux proposés à la réplique 172. L'élève argumente en soulignant que cela permettrait la mise en place de débats et de mieux orienter les financements.

Suite à ces interventions de l'élève-actrice représentant la Fondation Sciences Citoyennes, la gestionnaire du débat passe la parole à l'élève représentant le CNRS et le CEA. Celui-ci commence par réagir aux propos de l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes en présentant quelques initiatives du CNRS pour informer les gens. Il répond ensuite aux propositions d'imposer un moratoire, en exprimant son désaccord avec cette prise de position.

179	Gestionnaire de débat	Hunhun. Vous voulez intervenir donc monsieur du CNRS et du CEA peut-être sur ces développements et ensuite on reviendra à la personne de la CNIL qui veut intervenir (*Transcriptrice pas sûre de la fin de cette phrase*). Allez-y.
180	Arnaud - CNRS-CEA	Oui je suis pas d'accord avec ce qu'elle dit, parce que le CNRS informe la population de... enfin avec, les personnes peuvent poser des questions. Ils informent. Ils ont même créé un DVD pour informer les personnes. Ils ont même fait un site en ligne que les personnes elles peuvent visiter. Et pour la question du moratoire, arrêter les expériences, ce serait.. Ce serait un peu bête parce qu'on a passé déjà 10-20 ans dessus et en France on a s... sept mille chercheurs dont six mille cinq cents qui travaillent avec nous donc ça serait un échec total. Donc on ne peut pas laisser tomber comme çà,

Le CNRS et du CEA soulignent aussi dans leur cahier d'acteurs leurs efforts pour informer la population. Cela fait partie de ce qu'ils présentent comme la mise en place d'une "démarche responsable". Ils écrivent ainsi :

"Des inconvénients potentiels sont évoqués, comme de nouveaux risques pour la santé, l'environnement, le respect de la vie privée. La réponse à ces questionnements se trouve dans la mise en place d'une démarche responsable. Les organismes de recherche s'engagent à évaluer et maîtriser les risques, à étudier les effets des nanotechnologies sur l'homme et sur la société et enfin à renforcer les échanges entre scientifiques et citoyens. Ils travaillent ainsi sur les points suivants :

(...)

Le dialogue avec la société, formation des personnes. Les deux organismes échangent avec le public, préoccupé et demandeur d'information." (CNRS-CEA)

Dans la synthèse qui conclut le cahier d'acteurs, il est aussi écrit :

"Chaque organisme a mis en place une démarche responsable, qui comprend l'évaluation des risques liés aux nanomatériaux et leur maîtrise, des réflexions éthiques qui réunissent scientifiques, économistes, sociologues et philosophes, l'analyse des répercussions possibles des innovations sur la société, la mise en place d'espaces d'information et de dialogue avec la société." (CNRS-CEA)

Il est donc fait mention d'initiatives pour informer et échanger avec "un public demandeur d'information" dans le cahier d'acteurs.

L'élève-acteur représentant le CNRS et le CEA, s'il ne fait pas allusion à la terminologie de "développement responsable", estime lui, que :

"le CNRS informe la population de... enfin avec, les personnes peuvent poser des questions."

L'élève illustre ensuite le fait que le CNRS informe la population en citant les exemples d'un DVD et d'un site produits pas le CNRS, également présentés dans le cahier d'acteurs qu'il a étudié.

"Enfin, des analyses et des recherches portent sur les dangers pour la santé humaine et l'environnement : toxicologie et écotoxicologie, instrumentation analytique, prévention des risques, participation à la normalisation, soutien à la réglementation, etc. Ces actions du CNRS sont présentées et valorisées auprès du public. Le DVD "Nanosciences, nanotechnologies" est sorti à l'automne 2008, ainsi que le dossier pédagogique en ligne "Nanotechnologies et santé". (CNRS-CEA)

Les exemples que fournit l'élève représentant le CNRS et le CEA pour étayer son propos sont donc tirés du cahier d'acteurs qu'il a étudié. Lui et son groupe les avaient d'ailleurs repérés au moment où ils préparaient le jeu de rôle. L'un des thèmes identifié par les élèves a ainsi été intitulé par eux "information" et dans le tableau associé, ils ont écrit dans la case thèses et arguments de l'acteur sur ce thème :

"Thèse : Informer la population

- il faut informer la population pour la sensibiliser

Il faut qu'ils sachent qu'il y a des risques : "Des inconvénients potentiels sont évoqués, comme de nouveaux risques pour la santé..."

- Il faut informer la population sur ce que sont les nanotechnologies pour ne pas qu'ils en aient peur, ce qui est dû à certains films de science fiction

"La science, ce n'est pas çà. Les scientifiques sont encadrés par des réflexions éthique.

- Il faut que les gens soutiennent les nanotechnologies :

"la recherche sert l'économie et la société."

"Les travaux du CEA et du CNRS dans les domaines des nanosciences et des nanotechnologies répondent aux grands enjeux de recherche et de société du siècle naissant.""

Par ailleurs, les élèves ont aussi noté dans la case "Recommandations que l'acteur formule" :

"Un DVD sur les nanotechnologies : "Nanosciences, nanotechnologies"
Un site internet : "nanotechnologie et santé"."

Ainsi sur les questions d'information des citoyens, l'élève représentant le CNRS et le CEA insiste à la manière de ce qui est écrit dans son cahier d'acteurs, sur les initiatives des organismes qu'il représente pour répondre aux interrogations d'un public désireux de s'informer et pour mettre à disposition des supports d'information. Ces éléments avaient été relevés en préparation par les élèves qui avaient par ailleurs explicité certaines des visées qui, selon eux, sont associés, à ces efforts d'information : sensibiliser aux risques ; informer pour éviter que les gens aient peur ; informer pour obtenir le soutien des gens aux développements des nanotechnologies.

Ayant répondu à l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes, l'élève représentant le CNRS et le CEA revient ensuite sur la possibilité évoquée par l'élève représentant les Amis de la Terre de demander un moratoire. Il s'oppose à cette préconisation en mettant en avant la situation actuelle et les efforts déjà engagés, notamment sur le plan de l'économie et de l'emploi.

6.2.13 Enjeux économiques et sociaux

Pour justifier son désaccord avec la position de l'élève représentant les Amis de la Terre, l'élève représentant le CNRS et le CEA argue d'une part que les développements dans ce domaine sont déjà engagés depuis 10-20 ans et d'autre part que les nanotechnologies correspondent à des emplois au sein des organismes qu'il représente :

> *"Et pour la question du moratoire, arrêter les expériences, ce serait.. Ce serait un peu bête parce qu'on a passé déjà 10-20 ans dessus et en France on a s... sept mille chercheurs dont six mille cinq cents qui travaillent avec nous donc ça serait un échec total. Donc on ne peut pas laisser tomber comme çà,"*

Le CNRS et le CEA, de leur côté, ne se prononcent pas pour ou contre l'imposition d'un moratoire dans leur cahier d'acteurs. En revanche, ils se présentent comme des acteurs du développements des nanotechnologies et avancent le chiffre de 6500 chercheurs travaillant sur les nanotechnologies en lien avec le CNRS et le CEA auquel fait référence l'élève. Il est ainsi écrit :

> *"En 2009, près de 7 000 chercheurs travaillent en France sur les nanosciences et les nanotechnologies, dont 6 500 au CNRS et au CEA, ou en lien avec les deux organismes." (CNRS-CEA)*

Par ailleurs, le CNRS et le CEA mentionnent aussi le fait que cela fait déjà entre 10 et 20 ans que les nanotechnologies sont développées. Il est par exemple écrit :

> *"Le CEA et le CNRS travaillent en complémentarité dans les domaines des nanosciences et des nanotechnologies. Le premier surtout en recherche fondamentale, le second en associant recherche fondamentale et développements technologiques. Les travaux interdisciplinaires font appel aux spécialistes des nouvelles technologies de l'énergie, des sciences du vivant, des techniques de l'information et de la communication, des matériaux et de la sécurité. Les objectifs : l'approfondissement des connaissances, le développement d'innovations utiles pour la société et de technologies plus fiables. Les deux organismes travaillent sur ces sujets depuis plus de vingt ans, dans un contexte d'effort croissant de l'État, des régions et des collectivités locales. Une politique volontariste depuis dix ans a permis à la France de mettre en place un dispositif ambitieux d'infrastructures et de réseaux de recherche, qui la situe au meilleur niveau international." (CNRS-CEA)*

Ainsi, dans la réplique 180, l'élève utilise les arguments contenus dans le cahier d'acteurs produit par le CNRS et le CEA, pour défendre une prise de position absente de ce document :

un moratoire arrêtant la conduite d'expériences dans le domaine des nanotechnologies n'est pas souhaitable.

Le thème des enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies abordé dans la deuxième partie du tour de parole de l'élève représentant le CNRS et le CEA est alors repris à cet endroit du débat par l'élève représentant la CFE-CGC. Celui-ci abonde dans le sens de l'élève représentant le CNRS et le CEA.

181	Gestionnaire de débat	Hunhun. Juste monsieur, sur l'emploi, on va peut-être prendre le monsieur du CFE-CGC qui est un syndicat et juste après on vous laisse la parole.
182	Laurent - CFE-CGC	Je voulais dire que aussi tous les... toutes les nanotechnologies, c'est la création d'un nouveau marché et d'une création de beaucoup de nouveaux emplois. Ça permet aussi aux pays d'avoir un indépendance technologique, donc de pas être retardé par rapport aux autres pays et donc euh, ça... d'ici à 2020, on peut atteindre un marché de plusieurs milliards d'euros, donc je pense qu'il faut continuer dans ce sens.
183	Gestionnaire de débat	Vous pensez que donc les enjeux financiers
184	Laurent - CFE-CGC	sont
185	Gestionnaire de débat	et les enjeux donc en terme d'emplois sont
186	Laurent - CFE-CGC	ouais
187	Gestionnaire de débat	sont très importants ?
188	Laurent - CFE-CGC	Sont très importants pour qu'on arrête. Enfin, faut pas arrêter alors qu'on a toutes ces possibilités euh à l'horizon.

À propos des perspectives ouvertes par les nanotechnologies en termes de marché et d'emploi on peut lire dans le cahier d'acteurs de la CFE-CGC :

> *"**Les nanotechnologies seront les emplois de demain***
> ***Un marché très concurrentiel, de plusieurs milliards de dollars, est en perspective à l'horizon 2020.**" (CFE-CGC)*

Un peu plus loin, les auteurs du cahier d'acteurs de ce syndicat de salariés ajoutent aussi :

> *"La maîtrise des nanotechnologies constitue donc un enjeu stratégique pour notre pays, en termes d'emploi, de croissance et d'indépendance technologique. Il s'agit d'un nouveau "saut technologique", comme l'a été celui de l'avènement de la machine à vapeur en son temps ou de l'informatique plus récemment." (CFE-CGC)*

Le contenu du message que l'élève passe au travers de la réplique 182 est donc aussi celui que la CFE-CGC véhicule dans son cahier d'acteurs. L'élève ne change que le dollars du cahier d'acteurs en euros.

Il n'est par ailleurs pas écrit explicitement dans le cahier d'acteurs de la CFE-CGC "qu'il ne faudrait pas arrêter" de développer les nanotechnologies. Comme le faisait l'élève représentant le CNRS et le CEA, l'élève représentant la CFE-CGC riposte ici à la demande d'imposition de moratoire de l'élève représentant les Amis de la Terre. Néanmoins, si la CFE-CGC ne parle pas d'opposition à un moratoire dans son cahier d'acteurs, elle discute dans la première partie

de ce document des pistes pour stimuler l'innovation et permettre à la France de bénéficier au mieux des développements des nanotechnologies. À titre d'exemple, on peut lire :

> *"Même si la France se situe bien au niveau international en terme de technologies, elle ne sait pas toujours bien appréhender les potentialités du marché national/européen/mondial, ni fournir à un tissu de PME-PMI innovantes les informations stratégiques et les moyens leur permettant de se développer dans les secteurs les plus porteurs.*
>
> *Une veille et une prospective performantes doivent être mises en place pour améliorer la pertinence des investissements en matière de recherche comme de production, dans les secteurs et les applications pour lesquels il y a un marché et pas trop de concurrents déjà engagés." (CFE-CGC)*

ou encore

> *"Les nanotechnologies vont permettre une explosion des innovations. Il serait judicieux de repenser notre système de brevetabilité pour en accroître la simplification et l'efficacité et le mettre plus facilement à la disposition du plus grand nombre.*
>
> *Une meilleure articulation entre recherche publique et privée doit être trouvée. Le soutien à la recherche fondamentale doit être renforcé en définissant des priorités claires. Il faut assurer une réelle coordination des recherches transdisciplinaires intégrant physique, chimie, biologie, médecine, sciences humaines..." (CFE-CGC)*

À l'oral, l'élève-acteur ne reprend pas ces éléments du cahier d'acteurs, mais défend en revanche une position cohérente avec le contenu de ces citations.

Enfin, hormis cette opposition au moratoire proposé par l'élève représentant les Amis de la Terre, tout ce que l'élève représentant la CFE-CGC met en avant ici (les perspectives d'emplois et l'importance du marché des nanotechnologies dans les années à venir ainsi que la possibilité d'être dans une situation d'indépendance technologique vis à vis des autres pays) avait été relevé lors de la phase de préparation du jeu de rôle. À cette étape de la séance, les élèves étudiant le cahier d'acteurs de la CFE-CGC avaient en effet intitulé l'un des thèmes identifiés dans le cahier d'acteurs :

> *"Les nanotechnologies : porteur d'emploi et un nouveau marché"*

Puis dans le tableau associé à ce thème, ils avaient noté :

> *"- création de nouveaux emplois*
> *- indépendance technologique*
> *- Marché de plusieurs milliard d'ici 2020.*
> *- investissement → aide à la création de PME, PMI."*

Ainsi, les deux élèves représentant respectivement le CNRS et le CEA et la CFE-CGC mettent en avant les retombées pour l'économie et l'emploi pour objecter à la demande de moratoire avancée par l'élève représentant les Amis de la Terre. C'est alors qu'un autre élève réagit à cette proposition.

6.2.14 Protection des libertés et encadrement

L'élève-acteur représentant la CNIL a lui aussi son mot à dire à propos de cette demande de moratoire. Il ne prend pas explicitement parti pour ou contre les développements des nanotechnologies. Il pointe en revanche les menaces pour les libertés qui les accompagnent.

189	Gestionnaire de débat	D'accord. Oui, alors on va peut-être prendre juste le monsieur de la CNIL. Il ne s'est pas exprimé, il doit avoir aussi des choses à dire. Donc qu'est-ce que vous avez à dire sur ces développements des nanotechnologies.

190	Stéphane - CNIL	Ben pour rebondir sur ce qui a été dit, c'est sûr que c'est assez violent d'arrêter toutes les recherches et c'est pas très logique, mais il y a un autre problème qui se pose, c'est par rapport à... au, à la sécurité et aux libertés des personnes. Euh les puces qui sont microscopiques et qui sont pratiquement indétectables, elles peuvent entraîner une violation des libertés des personnes par surveillance trop poussée et abusive et ça pourrait entraîner à trop forte dose un clonage mental des personnes, c'est à dire que comme chacun aurait peur d'être trop surveillé, il deviendrait un citoyen modèle pour passer devant les surveillances qu'entraînent les puces électroniques euh
191	Gestionnaire de débat	Donc vous dites que ça va permettre de faire des puces électroniques comment ? plus...
192	Stéphane - CNIL	Bah l'idée c'est... qui a été développée déjà en boîte de nuit, c'est de mettre des puces électroniques dans les êtres humains et pour connaître leurs informations. Donc par exemple ça pourrait servir aux supermarchés d'indiquer un rayon tout précis déjà à une précis à une personne. Bah ça pourrait aider dans certains cas comme çà, mais le problème c'est que les personnes pourraient être tracées, suivies au quotidien et ça pourrait être très dangereux pour la sécurité de tout le monde.
193	Gestionnaire de débat	Donc vous vous êtes la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés, qu'est-ce que vous préconisez du coup ? ou qu'est-ce que vous pensez qu'il faut faire donc euh par rapport à çà ?
194	Stéphane - CNIL	Bah avant tout, euh, mettre des règles en place et limiter le plus possible les risques pour les citoyens... euh placer des limites euh dans cette recherche et surtout dans l'utilisation de ces nanotechnologies.
195	Gestionnaire de débat	Quand vous dites "placer des limites dans ces recherches" qu'est-ce que vous entendez par limites ?
196	Stéphane - CNIL	Bah, bah que ça devienne pas... que les recherches elles servent pour la santé, c'est bien, mais si ça sert pour un gouvernement pour suivre... pour suivre les gens ou savoir leurs opinions politiques euh, c'est du détournement de science.

L'élève représentant la CNIL entame son intervention en abordant des questionnements qui n'ont pas encore été évoqués dans le jeu de rôle. Il déclare ainsi

> *"il y a un autre problème qui se pose ; c'est par rapport à... au, à la sécurité et aux libertés des personnes"*

Les questions de protection des libertés sont au cœur du cahier d'acteurs de la CNIL. Sur la première page de ce document on peut par exemple lire :

> *"Bon nombre d'applications annoncées des nanotechnologies impliquent des traitements de données à caractère personnel. Cela amène naturellement à s'interroger au sujet des nouveaux enjeux qu'elles soulèvent en termes de protection de la vie privée et des libertés individuelles, ainsi qu'à propos des garde-fous à prévoir et de la capacité du cadre législatif actuel à répondre à ce nouveau défi technologique." (CNIL)*

Au travers de son cahier d'acteurs, la CNIL met donc sur la table les questions de protection de la vie privée et des libertés individuelles. Quant au terme de sécurité qu'emploie l'élève, il figure aussi dans le cahier d'acteurs fourni par cette autorité indépendante mais dans le contexte de *"sécurité des données"* :

> *"> **Sécurité :** les nanotechnologies doivent garantir la sécurité des données collectées, émises ou stockées, tant du point de vue de leur confidentialité que de leur intégrité. Les objets communicants traitant des données à caractère personnel ne devraient-ils pas intégrer la sécurité dès leur conception ?" (CNIL)*

C'est aussi dans ce contexte que l'emploient les élèves ayant étudié le cahier d'acteurs de la CNIL dans leurs fiches de préparation du jeu de rôle. Dans la case recommandation du tableau associé au thème qu'ils ont intitulé "Les dangers et les risques", les élèves ont noté :

> *""Les nanotechnologies doivent garantir la sécurité des données collectées, emises ou stockés"*
> *↪ confidentialité*
> *↪ intégrité*
> *risques → ils nécessitent d'en maîtriser le développement en encadrant au plus tôt.*
> *↪ être vigilant"*

Les interrogations sur la protection des libertés apparaissaient d'ailleurs aussi dans les fiches remplies en préparation. Dans la case "recommandations" du tableau associé au thème *"les puces électroniques (implants)"*, les élèves avaient ainsi écrit :

> *"de faire attention au risques*
> *Peut on être libre dans une société d'hyper traçabilité"*

Les questions de sécurité des données mais aussi des conséquences du traçage des personnes pour les libertés avaient donc été relevées par les élèves en préparation du jeu de rôle. Dans le jeu de rôle, l'élève-acteur représentant la CNIL mobilise ces éléments mais élargissant les problèmes de "sécurité des données" aux questions de "sécurité des personnes".

Il explique ensuite ce qui l'amène à attirer l'attention des panélistes sur ces interrogations :

> *"Euh les puces qui sont microscopiques et qui sont pratiquement indétectables, elles peuvent entraîner une violation des libertés des personnes par surveillance trop poussée et abusive"*

Il invoque donc d'abord la miniaturisation des puces qui les rend pratiquement indétectables. De son côté, dans son cahier d'acteurs, la CNIL souligne à la fois le caractère invisible des outils communicants du fait de leur miniaturisation mais aussi les possibilités ouvertes par l'emploi de ces technologies pour rendre compte des possibilité de surveillance des individus. On peut ainsi lire dans le document qu'elle a produit :

> *"Les principaux enjeux liés à l'essor des nanotechnologies résultent de la nature même de ces technologies (miniaturisation, dissémination, ubiquité) et de leurs usages potentiels. Comment contrôler ce qui ne se voit pas ? Même si leurs applications sont encore naissantes, il est impératif d'identifier dès à présent les risques qu'elles induisent.*
>
> *> **Invisibilité :** l'informatique devient de moins en moins visible du fait de la miniaturisation des technologies. L'environnement tout entier devient ainsi dépositaire des données à caractère personnel d'un individu ; ces données peuvent s'échanger et être utilisées à l'insu de la personne qu'elles concernent. En outre, comment distinguer un objet naturel d'un objet auquel des composants nanotechnologiques auraient été ajoutés ?*
>
> *> **Traçabilité :** l'ubiquité des nanotechnologies, c'est-à-dire leur dissémination massive combinée avec la possibilité d'interagir à distance avec des objets*

communicants, pourrait étendre considérablement les capacités de collecte de données personnelles. Ceci permettrait d'obtenir une connaissance étendue des déplacements des personnes ainsi que de leurs habitudes de vie et de comportement. Comment s'assurer que le développement de ces technologies ne se fera pas au prix d'une "hyper-traçabilité" des personnes, remettant en question leur liberté d'aller et venir ? Car cette liberté n'existe plus si l'anonymat n'est pas garanti !" (CNIL)

Par rapport au discours de l'élève, la CNIL souligne en plus le fait que les nano-objets peuvent être disséminés massivement et communiquer à distance. C'est essentiellement avec ces arguments qu'elle justifie ses craintes d'une mise en danger des libertés.

L'élève parle ensuite de *"clonage mental des personnes"* en expliquant :

> *"comme chacun aurait peur d'être trop surveillé, il deviendrait un citoyen modèle pour passer devant les surveillances qu'entraînent les puces électroniques.*"

Ce scénario est inspiré par le contenu du cahier d'acteurs de la CNIL. Comme le mentionne l'élève-acteur, cette autorité administrative va jusqu'à envisager un clonage mental des individus qui, se sachant perpétuellement sur écoute, se conformeraient à une norme de comportement imposée socialement.

> *"Mais, plus globalement, plus loin et plus grave encore, les applications nanotechnologiques pourraient à terme entraîner une modification profonde des comportements individuels. Les personnes, se sachant potentiellement tracées, écoutées ou observées à tout instant par les technologies, ne risquent-elles pas de s'autoformater en fonction d'une norme sociale imposée, de fait, par la société de surveillance ? Il s'agirait alors d'un véritable "clonage mental" ! Comme elle a su le faire pour le clonage humain, notre société devrait alors l'interdire !" (CNIL)*

La référence aux possibilités de "clonage mental" apparaît en outre à trois reprises dans les fiches renseignées par les élèves en préparation du jeu de rôle. Ainsi sur la page où ils ont répertorié les thèmes du cahier d'acteurs, les élèves ont écrit :

- *les nanotechnologies*

  ↓

  - *les implants de puce.*
  - *les puces électroniques.*
- *les risques et les dangers (ex : clonage mental)*
- ~~*les limites.*~~
- *les avantages et les avancés.*

Il est fait aussi référence au "clonage mental" dans la case thèses et arguments du tableau associé au thème que les élèves ont appelé *"les puces électroniques (implants)"* et où ils ont inscrit :

> *"Les implants de puces sont une forte avancée technologique mais peut être dangereux :*
>
> *Les puces sont microscopiques, indecelables du moins pratiquement. Il y a des risques de*
>
> *- violation des libertés des personnes.*
>
> *↪ surveillance trop poussé.*
>
> *pourrait entraînent un clonage mental, c'est a dire que chacun se soumettrais à la société pour être une sorte de "citoyens models".*
>
> *- utilisation excessive.*
>
> *⋆ dans le cas des consommations des boîtes de nuit. Cette utilisation n'est pas nécessaire, elle est même excessive.*
>
> *⋆ dans le cas d'aliment, même si cela servirait à travers les problèmes de qualité ou d'OGM."*

Enfin l'expression de "clonage mental" apparaît aussi dans le tableau du thème "les dangers et les risques" où les élèves ont écrit :

> *"- les dangers d'implant pour l'homme*
> *"Clonâge mentale"*
> *↪ modification profonde des comportements individuels. C'est à dire qu'une personne qui sais qu'elle est tracées, écoutées, ou observées tout le temps."*

Ainsi, l'idée que l'utilisation massive de puces électroniques pourrait entraîner un clonage mental des individus figurait dans les fiches remplies en préparation par les élèves étudiant le cahier d'acteurs de la CNIL. Dans ces fiches, il semble par ailleurs qu'ils aient surtout associé ce possible "clonage mental" à l'utilisation de puces implantées dans le corps humain. C'est aussi ce que peut laisser penser le début de la réplique 192 à l'oral de l'élève-acteur représentant la CNIL. Interrogé par la gestionnaire de débat sur les puces électroniques auxquelles il fait référence, l'élève-acteur représentant la CNIL fait écho à l'exemple mentionné dans le cahier d'acteurs de puces implantables dans le corps humain qui sont utilisées dans certaines boîtes de nuit. Il déclare alors :

> *"Bah l'idée c'est... qui a été développée déjà en boîte de nuit, c'est de mettre des puces électroniques dans les êtres humains et pour connaître leurs informations. Donc par exemple ça pourrait servir aux supermarchés d'indiquer un rayon tout précis déjà à une précis à une personne. Bah ça pourrait aider dans certains cas comme çà, mais le problème c'est que les personnes pourraient être tracées, suivies au quotidien et ça pourrait être très dangereux pour la sécurité de tout le monde."*

À propos de ces usages de puces sous-cutanées utilisées dans certaines boîtes de nuit, la CNIL, elle, écrivait :

> *"Des puces ou nano-puces seront peut-être bientôt implantées dans le corps humain. C'est même le cas dans certains pays, puisque certains se font déjà injecter des puces pour payer leurs consommations en boîte de nuit. À terme, les implants pourraient même devenir les outils incontournables de l'identification des personnes. De tels usages sont-ils acceptables par notre société ?" (CNIL)*

L'élève-acteur ne reprend donc pas tout à fait les mots la CNIL puisqu'il déclare, lui, que ces puces servent à "connaître leurs informations". Toutefois comme le fait la CNIL, (même s'il n'emploie pas cette terminologie), l'élève pose la question du bien-fondé de certains usages. La CNIL déclare ainsi dans son cahier d'acteurs :

> *"Même s'il mérite réflexion, le recours à la technologie RFID dans le cadre de l'assistance à des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer peut sembler légitime. En revanche, que penser des implants que certains se font déjà injecter dans le bras pour régler leurs consommations en boîte de nuit ? De tels usages sont-ils acceptables et ne risquent-ils pas de se banaliser de telle sorte que les nano-puces deviendraient ensuite les outils incontournables de l'identification des personnes ?" (CNIL)*

L'exemple de puces indiquant au client les rayons de supermarché que l'élève-acteur choisit pour illustrer certains usages qui pourraient être éventuellement inoffensifs, ne figure toutefois pas dans le cahier d'acteurs de la CNIL. D'ailleurs, nous n'avons pas repéré non plus dans les documents remplis par les élèves de référence à une utilisation possible des puces pour guider les consommateurs dans les supermarchés. Cet exemple n'apparaît pas en particulier dans le tableau associé au thème *"les avantages et les avancées technologiques"*.

Les élèves étudiant le cahier de la CNIL avaient en effet écrit dans ce tableau :

> *"∗ pour l'assistance aux malades attients d'Alzheimer :*
> *- retraçage grâce aux nanos-puces*
> *Citation : "l'assistance à des personnes attentes de la maladie Alzheimer peut sembler légitime".*

∗ ↗ TRAÇABILITÉ

Citation : "Ceci permettrait d'obtenir une connaissance étendue des déplacements des personnes ainsi que de leurs habitudes de vie".

Pour les criminels ou les portés disparus"

Ce dernier exemple noté sur la fiche des élèves est aussi de leur fait. La CNIL ne mentionne à aucun endroit de son cahier d'acteurs cet usage pour "tracer les criminels ou les portés disparus" et a fortiori cette autorité ne décrit pas cet usage comme un "avantage" ou une "avancée".

L'exemple du guidage des consommateurs dans les supermarchés ne figure pas non plus dans le tableau du thème "les dangers et les risques". Là à propos des usages, les élèves avaient noté :

"- utilisation excessive.

⋆ dans le cas des consommations des boîtes de nuit. Cette utilisation n'est pas nécessaire, elle est même excessive.

⋆ dans le cas d'aliment, même si cela servirait à travers les problèmes de qualité ou d'OGM."

Ici l'exemple de l'utilisation "pour les problèmes de qualité ou d'OGM" nous semble être la traduction d'une idée différente de celle mise en avant par la CNIL à l'endroit de son cahier où cette organisation parle d'OGM. Dans ce document, il est en effet écrit :

"Une information renforcée des personnes est de nature à garantir le développement des nanotechnologies dans un climat de confiance et dans le respect des principes de la protection des données et de la vie privée. La loi « informatique et libertés » place déjà l'information au cœur du dispositif de protection des personnes. Compte-tenu de l'invisibilité et de la dissémination des nanotechnologies, comment garantir que cette information est bien délivrée ? Faut-il par exemple envisager, comme pour les aliments comportant des OGM, que tout produit intégrant un nano-objet communiquant le mentionne de façon visible ?" (CNIL)

La mobilisation par la CNIL de l'exemple des OGM n'intervient donc pas en tant qu'exemple d'usage utile, mais comme précédent pour proposer des pistes pour informer les personnes.

Ainsi sur la question des usages des nanotechnologies, les élèves travaillant sur le contenu du cahier d'acteurs de la CNIL ont proposé plusieurs exemples qui ne figuraient pas dans le cahier d'acteurs de la CNIL.

À ce moment de la discussion la gestionnaire de débat relance l'élève-acteur pour qu'il explicite les préconisations de la CNIL face à ces menaces pour les libertés. Celui-ci plaide alors pour la mise en place de règles pour *"placer des limites dans cette recherche et surtout dans l'utilisation de ces nanotechnologies".*

Si nous n'avons pas repéré dans le cahier d'acteurs d'appel à limiter les recherches, la CNIL met bien en avant l'importance de mettre des règles pour encadrer les usages des nanotechnologies et maîtriser leurs utilisations.

*"**Quelles règles pour assurer la protection des personnes ?***

Les risques induits par les nanotechnologies nécessitent d'en maîtriser le développement en encadrant au plus tôt la recherche et en étant particulièrement vigilant sur leur évolution." (CNIL)

À propos de la maîtrise par les individus des informations les concernant, la CNIL déclare en particulier :

*"> **Maîtrise** : pour que les utilisateurs gardent la maîtrise de leur sphère privée, ne faudrait-il pas concevoir les nano-objets communicants de manière à ce qu'ils ne puissent en aucune façon diffuser des données à l'insu des personnes ?*

Ne faudrait-il donc pas concevoir des outils permettant aux personnes de contrôler les échanges d'informations effectués par leurs objets ou nano-objets afin de mettre en pratique le « droit au silence des (nano)puces » ?" (CNIL)

La CNIL ne nous semble donc pas réclamer ici une limitation des recherches, mais au contraire appeler à la conception d'outils permettant aux personnes de protéger les données les concernant. La gestionnaire de débat essaie alors de faire préciser à l'élève ce qu'il entend par limites en lui demandant

"Quand vous dites "placer des limites dans ces recherches" qu'est-ce que vous entendez par limites ?"

Ce à quoi l'élève répond :

"Bah, bah que ça devienne pas... que les recherches elles servent pour la santé, c'est bien, mais si ça sert pour un gouvernement pour suivre... pour suivre les gens ou savoir leurs opinions politiques euh, c'est du détournement de science."

Comme nous l'avons signalé plus haut les problèmes de traçabilité sont discutés par la CNIL. En revanche dans ce cahier d'acteurs, l'expression de "détournement de science" comme la référence à l'utilisation des nanotechnologies pour connaître les opinions politiques des gens n'apparaissent nulle part. Ces deux éléments introduits dans le jeu de rôle par l'élève-acteur n'avaient d'ailleurs pas été relevés par son groupe en préparation.

L'intervention de l'élève représentant la CNIL s'achève donc sur les questions d'encadrement des nanotechnologies. L'élève représentant la CFE-CGC demande alors la parole pour prendre position sur ce thème.

197	Gestionnaire de débat	Hunhunhun... alors on va revenir à monsieur (*désignant Laurent représentant la CFE-CGC*) qui avait demandé la parole et puis ensuite (*à Alice représentant l'AFT*) on prendra votre intervention. Allez-y monsieur du syndicat CFE-CGC
198	Laurent - CFC-CGC	C'est pour intervenir dans le même sens que... donc que, ouais c'est que toute nouvelle technologie doit, doit être accompagnée de nouvelles règles donc pour empêcher son développement à des fins néfastes donc il faut que la... la, le développement soit encadré et non pas laissé comme çà quoi *(dernier mot inaudible)*
199	Gestionnaire de débat	Vous plaidez pour un encadrement des développements des nanosciences et des nanotechnologies
200	Laurent - CFE-CGC	Oui.

L'élève porte ici à l'oral quelque chose que lui et son groupe avaient noté en préparation du jeu de rôle. Dans le tableau associé au thème "Limiter les risques", les élèves avaient en effet noté entre autres choses :

"- Nouvelle technologie donc nouvelle règle pour empêcher son détournement à des fins néfastes".

Il emploie par contre l'expression de "développement à des fins néfastes" et non de "détournement".

Par ailleurs, dans un passage du cahier d'acteurs de la CFE-CGC, on peut lire :

"Les nanotechnologies sont porteuses d'espoir, mais comme pour tout, il peut y avoir de mauvais usages et des risques spécifiques nouveaux.

Il est indispensable de généraliser une surveillance systématique de la toxicité et des risques pour la société qui sont pris à l'occasion de la recherche, de la production et de la consommation des nanotechnologies comme cela doit être le cas pour n'importe quel produit ou service.

Depuis que le monde est monde, il y a toujours eu des utilisations néfastes de toutes les innovations. Les progrès de la science ont toujours fait apparaître de nouveaux risques ou des utilisations perverses de celle-ci. Des systèmes spécifiques de prévention, de contrôle ainsi que des règles et un processus de normalisation ont permis de réduire ces risques dans de nombreux domaines qui font partie de notre quotidien d'aujourd'hui." (CFE-CGC)

L'élève mobilise donc des éléments issus du cahier d'acteurs qu'il a eu entre les mains et retient de ce passage l'idée de possibilité d'utilisations néfastes des nanotechnologies rendant nécessaire l'adoption de règles. Il reprend aussi l'idée que les nanotechnologies ne font pas exception à la règle dans l'histoire des innovations.

C'est alors au tour de l'élève représentant le CNRS et le CEA de solliciter la parole pour intervenir sur la régulation des développements des nanotechnologies.

6.2.15 Développement responsable et encadrement éthique

De nouveau, l'élève représentant le CNRS et le CEA insiste sur la bonne volonté et les initiatives du CNRS et du CEA pour tenir compte des interrogations évoquées dans la discussion. Plus particulièrement ici, il souligne les efforts déployés par ces organismes de recherche pour mettre en place un encadrement éthique.

201	Gestionnaire de débat	*(à Alice)* Monsieur du CNRS et du CEA avait demandé la parole aussi avant vous donc je vous la donnerai après. Allez-y.
202	Arnaud - CNRS-CEA	Ben nous qui possédons (*mot difficile à entendre*) 6500 chercheurs, on a mis en place des règles d'éthique très strictes. On a même fait...
203	Gestionnaire de débat	Des règles d'éthique par rapport à quoi exactement ?
204	Arnaud - CNRS-CEA	Bah les recherches, les do *(?),* on peut pas faire n'importe quoi. On a même créé le, le Comets. C'est un comité, d'éthique.
205	Gestionnaire de débat	D'accord.
206	Arnaud - CNRS-CEA	Qui permet de réguler tout, de... de fixer des règles pour pas que ça dépasse. Donc il y a bien des règles qui sont fixées.

La référence à la mise en place de "règles éthiques" ou plutôt d'une réflexion éthique et à la création du Comets sont présentes dans le cahier d'acteurs du CNRS et du CEA. On peut ainsi lire :

"Au CEA, l'orientation prise est d'intégrer la dimension éthique à la prise de décision et à la conduite des recherches." (CNRS-CEA)

ou encore :

"L'organisme [le CNRS] a créé son propre comité d'éthique (le Comets)." (CNRS-CEA)

Il est également écrit :

"Des inconvénients potentiels sont évoqués, comme de nouveaux risques pour la santé, l'environnement, le respect de la vie privée. La réponse à ces questionnements se trouve dans la ***mise en place d'une démarche responsable****. Les organismes de recherche s'engagent à évaluer et maîtriser les risques, à étudier les effets des nanotechnologies sur l'homme et sur la société et enfin à renforcer les échanges entre scientifiques et citoyens. Ils travaillent ainsi sur les points suivants :*

(...)

*>****La réflexion sur une éthique à construire****, avec l'aide de philosophes et en complément des cadres légaux existants (expérimentation humaine, expérimentation animale, informatique et liberté...). L'éthique désigne l'ensemble des valeurs et principes qui régissent l'action individuelle et collective. La responsabilité est une des notions éthiques fondamentales. Elle éclaire la plupart des choix (de la maîtrise des risques au principe de précaution);" (CNRS-CEA)*

Ainsi, lorsqu'il met en avant "l'existence de règles éthiques très strictes", l'élève-acteur représentant le CNRS et le CEA s'appuie sur des éléments du contenu de son cahier d'acteurs, tout en allant un cran plus loin que ce qui y est écrit. Il n'est en effet pas dit que des "règles éthiques auraient été fixées" mais plutôt qu'une réflexion éthique est à construire.

Cette intervention de l'élève peut être aussi rapprochée de l'encadré du cahier d'acteurs où l'on peut lire une citation de Louis Laurent présenté comme *"chargé de mission pour le Campus de Saclay, auteur de l'ouvrage "Les nanotechnologies doivent-elles nous faire peur ?", éditions Le Pommier, 2005."* qui déclare :

"Certaines des peurs liées aux nanotechnologies sont illustrées à merveille par des romans ou des films de science-fiction. Des êtres mi-homme mi-machine, des embryons sélectionnés à grande échelle sur analyse ADN, une gelée formée de nano-monstres qui se reproduisent... La science, ce n'est pas ça. Les scientifiques sont encadrés par des réflexions éthiques. La recherche sert l'économie et la société." (CNRS-CEA)

Dans cette citation on retrouve donc l'idée que les scientifiques sont encadrés, ce que l'élève affirme en déclarant *"on peut pas faire n'importe quoi"* ou encore *"il y a bien des règles qui sont fixées".*

Enfin, cet accent sur la mise en œuvre d'une réflexion éthique avait été repérée par les élèves en préparation du jeu de rôle. Ils avaient ainsi intitulé l'un des thèmes du cahier d'acteurs *"Ethique"* et dans le tableau associé, ils avaient écrit :

"- Il faut mettre en place une notion d'éthique dans l'utilisation des nanotechnologies

- inconvénients potentiels ("de nouveaux risques pour la santé, l'environnement, le respect de la vie privée) : → il faut mettre en place une démarche responsable

- évaluation des risques pour la sécurité des personnes.

- reflexion sur une éthique à construire → philosophes

- analyse des répercussions possibles des innovations sur la société.

def de l'éthique : "L'éthique désigne l'ensemble des valeurs et principes qui régissent l'action individuelle et collective"

En préparation les élèves n'avaient donc pas tout à fait noté que des règles éthiques étaient déjà mises en place, mais qu'au contraire une réflexion éthique était à construire.

L'élève représentant l'Association Française Transhumaniste demande alors à intervenir. Elle aussi, revient sur l'idée d'encadrement des utilisations des nanotechnologies et fait allusion à la question des libertés.

207	Gestionnaire de débat	Madame des transhumanistes ?
208	Alice - AFT	Euh là, donc on veut dire là dessus euh, donc on est vraiment, on est vraiment pour les développements des nanotechnologies, mais on est vraiment d'accord sur euh, la pensée est liée au corps et qu'il faut que l'État place des limites, donc justement sur ces utilisations de ces technologies et donc même si on est pour le développement, on est vraiment d'accord que pour les libertés
209	Gestionnaire de débat	Mais *(hoche la tête)...* D'accord vous voulez préserver les libertés et donc vous dites que il faut ac... faire attention
210	Alice - AFT	Oui et même si on est pour le développement ça ne veut pas dire que... qu'on va à l'encontre des libertés des Hommes, et...

Au tour de parole 208, l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste commence par déclarer que l'organisation qu'elle représente est vraiment "pour le développement des nanotechnologies". Elle traduit ici ce que l'on peut lire dans la synthèse du cahier d'acteurs de cette association :

> *"> Oui aux nanotechnologies dans tous les domaines, sans aucun tabou." (AFT)*

Dans la suite de sa réplique 208, l'élève-actrice énonce ensuite deux prises de position. D'abord, elle commence par affirmer :

> *"mais on est vraiment d'accord sur euh, la pensée est liée au corps".*

Elle énonce ici quelque chose que les élèves avaient noté dans l'un des tableaux de préparation du jeu de rôle, celui correspondant au thème *"concilier société et avancé technologique"*, où elles avaient écrit :

> *"La pensé est liée au corps."*

Par ailleurs, à propos du lien entre pensée et corps on peut lire vers la fin du cahier d'acteurs de l'AFT :

> *"Bien entendu, pour longtemps encore, il est hautement probable que la pensée humaine demeure liée au corps - plus ou moins celui que nous connaissons. Il sera donc nécessaire de préserver les équilibres dont ces corps dépendent : une planète viable, une ou des sociétés humaines suffisamment stables et dynamiques à la fois." (AFT)*

Dans son intervention l'élève retranscrit donc une idée exprimée par l'Association Française Transhumaniste en gommant certaines nuances apportées par le choix de tournure employé par les auteurs du cahier d'acteurs. En effet, l'AFT laisse entendre qu'un jour la pensée pourrait éventuellement, dans un futur lointain ne plus être liée au corps.

Ainsi, dans la réplique 208, l'élève-actrice représentant l'Association Française Transhumaniste s'inspire du positionnement de cette association sur le lien entre corps et esprit. Elle l'avance toutefois sans l'utiliser comme prémisse pour défendre l'idée que les nanotechnologies devraient être développées en "préservant les équilibres dont ces corps dépendent".

L'élève déclare ensuite :

> *"il faut que l'État place des limites, donc justement sur ces utilisations de ces technologies" .*

Elle apporte ici dans le débat un élément qui ne figure pas tel quel dans le cahier d'acteurs de l'AFT. La seule référence explicite à l'État dans ce document se fait dans les termes suivants :

"Cette nouvelle révolution porte également sur les modifications possibles des individus. Se pose alors la question de la liberté accordée à ces derniers et du degré de contrôle exercé par l'État. Considérons nous que l'État doit légiférer et décider du corps des individus ? Quelles seront les conséquences réelles des libertés accordées ou des interdictions imposées ? La loi doit-elle trancher, pour tout un pays, sur la base d'une philosophie, ou d'une tradition religieuse ou non ? Ou bien régulerons-nous en fonction des effets concrets que des individus modifiés auront sur la Société ?" (AFT)

L'AFT pose la question du contrôle de l'État sur les modifications de l'humain, mais ne nous paraît pas être ouvertement favorable à un encadrement de l'État en la matière. A fortiori, il ne nous semble pas que l'AFT appelle de ses vœux que l'État pose des limites aux utilisations sur les nanotechnologies. En effet un peu plus loin on peut lire :

"Donc, les Transhumanistes français proposent de considérer que l'on peut assumer les responsabilités qui accompagnent les nouvelles possibilités offertes, que l'on peut chercher l'équilibre entre la liberté des individus concernant leur corps et l'effet des modifications sur la société ; que l'on peut enfin assumer la diversité des individus composants une société de tolérance." (AFT)

L'élève se déclare donc en faveur d'un encadrement par l'État des utilisations des nanotechnologies alors que l'AFT semble plutôt suggérer que l'État devrait laisser aux individus le choix de disposer et d'améliorer leur corps s'ils le souhaitent.

Enfin, à la fin de son intervention dans la réplique 208 et dans la réplique 210, l'élève représentant l'AFT parle de libertés. Elle annonce :

"même si on est pour le développement ça ne veut pas dire que... qu'on va à l'encontre des libertés des Hommes"

Les seuls passages du cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste où apparaît le terme de liberté sont ceux que nous venons de ce citer. L'AFT ne parle donc de liberté des individus que pour déclarer *"que l'on peut chercher l'équilibre entre la liberté des individus concernant leur corps et l'effet des modifications sur la société"*. Lorsque l'AFT traite des libertés, elle ne s'intéresse qu'à la liberté des individus de disposer de leur corps pour éventuellement le modifier. On ne peut donc rien lire d'analogue à ce que l'élève dit dans la discussion.

La gestionnaire de débat tente alors de recentrer le propos de l'élève-actrice sur le contenu du cahier d'acteurs de l'AFT.

6.2.16 Développements en médecine et interrogations suscitées par ces développements

En réponse à la relance de la gestionnaire de la discussion, l'élève-actrice représentant l'AFT fait écho aux utilisations des nanotechnologies en médecine pour le soin et l'amélioration des capacités de l'être humain.

210	Alice - AFT	Oui et même si on est pour le développement ça ne veut pas dire que... qu'on va à l'encontre des libertés des Hommes, et...
211	Gestionnaire de débat	mais vous êtes quand m... tout à l'heure vous nous avez dit, vous avez parlé d'implants, par rapport à ces questions d'implants, et éventuellement même... À quoi serviraient ces implants et pourquoi vous êtes en faveur de
212	Alice - AFT	Bah moi c'était plutôt des implants pour euh améliorer les capacités euh motrices de, pour les problèmes, les maladies et tout çà.

213	Gestionnaire de débat	Uniquement pour les gens qui ont des maladies ou même au delà ?
214	Alice - AFT	Non, au delà aussi mais
215	Gestionnaire de débat	D'accord. Ok
216	Alice - AFT	Plutôt pour l'organisme justement. Faire avancer la médecine.

Dans ce passage, il n'y a pas d'apport de nouveaux contenus par rapport au tour de parole 62 de l'élève. Lorsque la gestionnaire de débat demande à l'élève représentant l'AFT à quoi servirait les nano-implants qu'elle avait mentionnés précédemment dans le débat, l'élève commence par souligner les perspectives d'amélioration des capacités motrices et pour les maladies. La gestionnaire de débat l'incite alors à souligner que l'AFT est en faveur de l'utilisation de nano-implants pas seulement dans une perspective de guérison, mais aussi d'amélioration des capacités de l'humain.

Là, comme la discussion a bifurqué sur les questions d'utilisation des nanotechnologies en médecine, c'est au tour de l'élève représentant l'Académie de Médecine de se manifester. Il revient sur certains questionnements soulevés par ces développements et en premier lieu sur les possibles dérives eugénistes.

217	Gestionnaire de débat	Hunhun. *(à Corentin)* Monsieur euh, tout à l'heure vous avez demandé la parole il me semble.
218	Corentin - ANM	Oui.
219	Gestionnaire de débat	Allez-y, exprimez vous.
220	Corentin - ANM	Euh moi je pense même qu'on pourrait maintenant parler d'eugénisme. Ce serait là la limite de ces projets nanotechnologiques.
221	Gestionnaire de débat	Alors juste peut-être, vous pouvez nous expliquer ce que c'est que l'eugénisme en deux phrases ?
222	Corentin - ANM	Bah ce serait une sorte de tri euh, de tri ou de création d'un être humain 'fin, au mieux quoi.
223	Gestionnaire de débat	Donc par rapport à ce que disait madame des transhumanistes sur l'amélioration, vous pensez, vous pensez ? Pourquoi vous parlez d'eugénisme ? Vous pensez qu'il y a des risques d'eugénisme c'est çà ?
224	Corentin - ANM	Oui. Il faut...
225	Gestionnaire de débat	liés aux développements des nanotechnologies ?
226	Corentin - ANM	Oui oui, il faut prévoir qu'il va y avoir des nouvelles tentatismes, tentatives pardon d'eugénisme et que ça... je pense que c'est, c'est la limite... c'est une des limites des nanotechnologies parce que après bon, nous dans la médecine, on, on parle déjà de diagnostics personnels selon les individus euh... on parle aussi de la traçabilité. On pourrait même parler d'un piratage d'informations génétiques euh dans le cas où...
227	Gestionnaire de débat	D'accord donc vous
228	Corentin - ANM	Des boîtes de nuit ou... de tout à l'heure

229	Gestionnaire de débat	D'accord donc vous parlez d'outils pour le diagnostic, c'est çà ? Permettre un diagnostic personnalisé c'est çà ?
230	Corentin - ANM	Oui.
231	Gestionnaire de débat	Et vous dites que par rapport à ces données, il faut les protéger ?
232	Corentin - ANM	Oui.
233	Gestionnaire de débat	C'est, j'ai bien compris ?
234	Corentin - ANM	Oui

Dans la réplique 220, l'élève représentant l'ANM utilise le mot d'eugénisme et estime qu'il s'agit là d'une "limite de ces projets nanotechnologiques". Le terme d'eugénisme est aussi employé dans le texte fourni à la CNDP par l'Académie de Médecine où il est écrit :

> *"Par ailleurs, le risque de nouvelles tentatives d'eugénisme doit toujours être redouté afin d'être rapidement combattu, même s'il a toujours existé, quel que soit le niveau technique de l'humanité."*

L'élève intervient donc ici en mobilisant un élément du cahier d'acteurs qu'il a étudié. Il ne mentionne pas, par contre, comme le fait l'Académie de Médecine, que le combat contre les tentatives d'eugénisme n'est pas chose nouvelle.

Invité ensuite à expliciter cette référence aux risques d'eugénisme, l'élève représentant l'Académie de Médecine invoque les possibilités de diagnostic personnel, de traçabilité et de piratage d'information génétique.

> *"il faut prévoir qu'il va y avoir des nouvelles tentatismes, tentatives pardon d'eugénisme et que ça... je pense que c'est, c'est la limite... c'est une des limites des nanotechnologies parce que après bon, nous dans la médecine, on, on parle déjà de diagnostics personnels selon les individus euh... on parle aussi de la traçabilité. On pourrait même parler d'un piratage d'informations génétiques euh dans le cas où..."*

L'élève utilise ici dans son intervention divers éléments du cahier d'acteurs. L'Académie de Médecine parle effectivement de possibilité de disposer de diagnostics personnalisés au début de son cahier d'acteurs, lorsqu'elle présente les perspectives ouvertes par les développements des nanotechnologies :

> *"Les techniques nanométriques permettent un diagnostic rapide, fiable, ultrasensible et peu onéreux, fondé sur les données fournies par un ensemble de plus en plus spécialisé de biopuces et de marqueurs moléculaires. Dans quelques cas, on parvient déjà à un véritable diagnostic biologique individuel : ceci permet de réaliser, dans certaines affections, des traitements hautement spécifiques, tenant compte des particularités propres à chaque patient.*
>
> *On commence à voir ainsi apparaître ce qui sera peut-être dans le futur une véritable médecine personnalisée, tenant de mieux en mieux compte des particularités de chaque individu." (ANM)*

L'Académie de Médecine emploie aussi le terme de traçabilité, mais dans un tout autre contexte que celui de la protection des libertés ou des données sur les individus puisqu'elle écrit :

> *"On retrouve aussi cette attitude éthique à propos de la nécessité d'une métrologie nouvelle générant une réglementation évolutive, toutes deux à l'échelle internationale. Il en est de même pour tout ce qui concerne l'information des patients, la traçabilité des substances, la vigilance sanitaire, la médecine du travail et la protection de l'environnement." (ANM)*

Enfin, si le vocable de "piratage d'information génétique" n'apparaît pas, les questions de protection des données concernant le patient sont toutefois abordées dans le cahier d'acteurs de l'ANM où l'on peut lire :

> *"Deux problèmes nouveaux doivent être soulignés : Le premier est lié à la définition biologique de chaque individu qui permettra de le soigner au mieux. Mais il serait inadmissible que ces informations personnelles de nature privée risquent d'être communiquées, tant aux autorités de l'État qu'à l'ensemble des membres de la société. C'est pourquoi, l'efficacité des procédures qui assurent la protection de ces éléments doit être régulièrement vérifiée, et c'est justement parce qu'elle l'est aujourd'hui, que ces risques de dérive sont en pratique bien maîtrisés.*
>
> *Par ailleurs est-il bon ou dangereux pour la santé d'un individu qu'il soit informé de ses propres caractéristiques biologiques ? Cette question va vite se poser. Car ces informations permettent de prévoir l'avenir et celui de notre descendance. Certes, c'est avec une probabilité qui est mal connue ; mais surtout, cette probabilité est difficilement appréciable sans une solide culture biologique.*
>
> *Par ailleurs, le risque de nouvelles tentatives d'eugénisme doit toujours être redouté afin d'être rapidement combattu, même s'il a toujours existé, quel que soit le niveau technique de l'humanité." (ANM)*

Finalement, dans la réplique 226, l'élève-acteur représentant l'Académie de Médecine reprend des éléments issus du cahier d'acteurs de l'Académie de Médecine (diagnostic personnalisé, protection des données sur le patient et risques d'eugénisme).

Sa façon de mettre d'abord en avant la possibilité de tentatives eugénistes puis de justifier ou au moins de faire suivre cette mise en garde d'une référence aux possibilités de diagnostic personnalisé et aux problèmes de protection des données en déclarant :

> *"on parle déjà de diagnostics personnels selon les individus euh... on parle aussi de la traçabilité. On pourrait même parler d'un piratage d'informations génétiques euh dans le cas où..."*

se retrouve par ailleurs dans les fiches de préparation remplies par les élèves avant le jeu de rôle. Le terme d'eugénisme y est présent. L'un des thèmes qu'ils ont identifié dans le cahier d'acteurs est ainsi intitulé : *"Les pb éthiques, l'eugénisme"*.

Puis, dans le tableau associé à ce thème, ils ont écrit dans la case "thèse et arguments de l'acteur sur ce thème" :

faire attention aux nouvelles tentatives d'eugénisme

- diagnostique personnel
- tracabilité des substance
-! piratage d'info genetique, trop d'info à l'avance comment proteger info perso ?
- definition biologique de chaque individu"

Vu la manière dont les élèves ont rempli ce tableau, il nous semble que la thèse de l'acteur identifiée par les élèves est de *"faire attention aux nouvelles tentatives d'eugénisme"* et que, tout ce qu'ils ont noté ensuite, étaye cette thèse. Il nous semble aussi qu'à l'oral, au travers de la réplique 226, l'élève-acteur s'appuie sur ce tableau, juxtaposant dans son discours les éléments relevés par les élèves. Cette mise en lien d'éléments sans rapports évidents entre eux dans le cahier d'acteurs se poursuit dans la réplique 228 par une allusion à l'exemple des "boîtes de nuit" mentionné par l'élève représentant la CNIL au tour de parole 192 pour illustrer son idée de "piratage des données génétiques".

L'élève-actrice représentant les Amis de la Terre se manifeste alors pour afficher ses craintes d'une "artificialisation de l'humain".

235	Gestionnaire de débat	C'est çà que vous vouliez dire ? D'accord. Madame des Amis de la Terre, vous, vous vouliez intervenir ?
236	Miriam - AdlT	Ben nous, nous avons peur de l'artificialisation de l'être humain.

L'expression employée ici par l'élève représentant les Amis de la Terre avait déjà été notée par elle et son groupe en préparation du jeu de rôle. Elles avaient alors écrit dans la liste des thèmes abordés dans le cahier d'acteurs :

> *"Problèmes Ethiques : Peur de l'artificialisation de l'être humain et du vol de sa liberté."*

Par ailleurs, dans le cahier d'acteurs des Amis de la Terre, les interrogations sur les perspectives ouvertes par les nanotechnologies pour "améliorer l'humain" sont aussi abordées. On peut ainsi y lire :

> *"Les recherches pour l'augmentation des capacités humaines, avancées comme réponse aux maladies et aux handicaps, nous font craindre une dérive vers une société où une minorité serait "améliorée", et l'autre pas. Où sera la frontière entre le soin et la transformation structurelle de l'humain ?" (AdlT)*

La gestionnaire du débat demande alors à l'élève-actrice de préciser un peu si elle se réfère à l'une des interventions précédentes lorsqu'elle parle "d'artificialisation de l'être humain".

237	Gestionnaire de débat	Par rapport à ce que disait quelqu'un en particulier ou ?
238	Miriam - AdlT	Bah à l'ensemble de la nanotech, technologie, pour tout ce qui est traçage des personnes ou... on peut même se poser la question de la propriété intellectuelle.

Dans son explicitation au tour de parole 238, l'élève actrice mentionne des éléments présents dans le cahier d'acteurs qu'elle a étudié. Cette organisation revient en effet sur les problèmes de traçage des individus :

> *"Les nanotechnologies permettent la miniaturisation à l'extrême des RFID (Radio Frequency Identification), puces électroniques "intelligentes" pour nous suivre à la trace, amplifiant la surveillance des objets et des gens, limitant d'autant les libertés individuelles." (AdlT)*

Les Amis de la Terre abordent aussi des questions de brevetabilité de la matière :

> *"Comme le constatait la trentaine d'associations réunies à Montpellier en novembre 2008 : "Les scientifiques sont incités à breveter leurs découvertes et à créer des entreprises qui seront in fine absorbées par les grands de la biotechnologie qui possèdent les portefeuilles de brevets les plus conséquents". Une seule invention peut servir à une foule d'applications dans des champs connexes. Aussi assiste-t-on à une nouvelle ruée sur les brevets pour s'assurer le contrôle de la matière inerte et vivante." (AdlT)*

Ces différents éléments avaient été relevés par les élèves et rassemblés dans l'un des thèmes qu'elles avaient intitulé *"Problèmes Ethiques"*. Dans le tableau qu'elles avaient remplies pour détailler ce thème, les élèves avaient inscrit :

> *"Peur de l'artificialisation de l'être humain*
>
> *"Avec la nano nous allons vers la privatisation du vivant."*
> *"ou la question de la propriété intellectuelle"*

et peur du vol de la liberte
"Puces éléctroniques pour nous suivre à la trace""

Finalement ici, l'élève-actrice a mis en lien à l'oral ces différents éléments relevés en préparation du jeu de rôle.

Suite au tour de parole 238, la gestionnaire de débat tente de pousser l'élève-actrice représentant les Amis de la Terre à expliciter son propos.

239	Gestionnaire de débat	Hunhun, donc ce que disait aussi euh... la protection des données ?
240	Miriam - AdlT	Euh, oui, oui...
241	Gestionnaire de débat	Alors propriété intellectuelle, qu'est-ce que vous entendez par propriété intellectuelle ? Peut-être vous pouvez nous expliquer un peu euh ?
242	Miriam - AdlT	euh...
243	Gestionnaire de débat	Pourquoi vous parlez de propriété intellectuelle ? Qu'est-ce qu'il y a en jeu ici ?
244	Miriam - AdlT	Euh on se pose la question de l'atteinte aux libertés individuelles ou... oui, ou... je ne saurais pas le développer autrement mais.

Interrogée pour préciser ce qu'elle entend par l'expression "propriété intellectuelle", l'élève représentant les Amis de la Terre semble mise un peu en difficulté. Elle répond en faisant référence aux possibilités d'atteinte aux libertés individuelles qui sont citées en introduction du cahier d'acteurs des Amis de la Terre juste avant les questions de propriété intellectuelle. Il y est en effet écrit :

> *"Des enjeux essentiels ne sont malheureusement pas du tout abordés, telles l'atteinte aux libertés individuelles ou la question de la propriété intellectuelle, car avec les nanotechnologies nous allons vers la privatisation du vivant, mais aussi de la matière inerte, voire de la matière hybride" (Amis de la Terre)*

Finalement, ici, l'élève représentant les Amis de la Terre commence par rebondir sur les interventions précédentes en exprimant ses craintes d'une "artificialisation de l'humain". Puis, incitée par la gestionnaire de débat à préciser sa pensée, elle parle alors de traçage des individus et de questions de propriété intellectuelle. Si ces différents objets de discussion sont bien abordés dans le cahier d'acteurs, ils ne sont toutefois pas mis en lien dans ce document. Enfin, quand la gestionnaire de débat cherche à faire expliciter à l'élève-actrice ce qu'elle entend lorsqu'elle fait allusion aux questions de propriété intellectuelle, l'élève-actrice semble mise en difficulté et admet ne pas savoir trop le développer.

Enfin, l'élève représentant l'AFT prend la parole une dernière fois avant le tour de table final. Cette fois-ci, elle fait référence aux réflexions sur l'Humain qu'esquisse l'AFT dans son cahier d'acteurs.

245	Gestionnaire de débat	D'accord. De l'atteinte aux libertés individuelles euh... Oui, madame des transhumanistes et puis après ouais.
246	Alice - AFT	Si on se pose ce genre de questions, il faudrait se poser la question de : quel est vraiment l'objectif de l'Homme sur Terre ? *(Rires de certains élèves)* Et donc euh, le plus important ce serait... ce serait quoi d'être à l'origine d'une évolution prochaine ou euh... (*sourire*) Donc voilà.

247	Gestionnaire de débat	Donc vous vous pensez que les nanotechnologies permettent de, d'améliorer
248	Alice - AFT	Ben il faut se poser la question ouais sur l'objectif de, de l'Homme sur Terre et, ce qu'on veut vraiment faire.

La question de "l'objectif de l'Homme sur Terre" est effectivement abordée par l'AFT dans son cahier d'acteurs. On peut en effet lire dans le document rédigé par cette organisation :

> ***Quels sont nos objectifs ?***
>
> *Pourtant, les mêmes* [les personnes se réclamant du mouvement de pensée des Transhumanistes] *clament haut et fort leurs attaches humanistes. Ils admettent que le but ultime de l'espèce humaine est simplement sa propre perpétuation. Mais qu'est-il question de perpétuer si l'on admet que peuvent changer considérablement la pensée humaine et le support matériel qui l'abrite ?*
>
> *C'est un débat en cours. Certains Transhumanistes sont à la recherche de ce qui pourrait être l'ensemble des critères qui feraient qu'une pensée soit infailliblement reconnue comme humaine. Ou bien, ce qui est "important" se trouve-t-il dans la continuité ? Ce qui importe serait que nous soyons à la source, que la prochaine évolution vienne de notre "origine" ?" (AFT)*

Ici l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste retranscrit donc le questionnement sur les objectifs de l'Humain mais sans faire écho à la réponse que proposent les Transhumanistes à savoir que le *"but ultime de l'espèce humaine est simplement sa propre perpétuation"*. Il nous semble par ailleurs que dans la deuxième partie de la réplique 246 où elle affirme :

> *"Et donc euh, le plus important ce serait... ce serait quoi d'être à l'origine d'une évolution prochaine ",*

l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste s'écarte légèrement du contenu du cahier d'acteurs de l'AFT. En effet l'AFT écrit qu'au sein du mouvement transhumaniste la question de savoir si l'essentiel pour l'humain serait d'être à l'origine de sa propre évolution n'est pas tranchée.

Ces différents éléments avaient par ailleurs été notés en amont du jeu de rôle par les élèves étudiant le cahier des Transhumanistes. Ainsi, dans le tableau associé au thème que les élèves ont intitulé *"Réflexion sur l'humain"*, elles ont écrit :

> *" - Ce qu'est l'humain*
>
> *>> Humains proches du matérialisme (Transhum) "L'Humain n'est qu'un composé complexe de la matière."*
>
> *>> Il n'y a pas de définitions car l'humain évolue au fil du temps : " il est le fruit d'une longue évolution biologique" ; "il n'en constitue pas la fin ; " pour les transhumanistes, il n'y a pas un être humain intemporel. Ils se placent donc radicalement dans le camps des partisans d'une "mutabilité" de l'Humain.*
>
> *>> rien de rationnel ne permet de prétendre à une quelconque immuabilité de la Nature dont l'Humain et l'Humanité ferait partie intégrante.*
>
> *- Les objectifs des humains*
>
> *>> assurer sa survie "le but ultime de l'espèce humaine est simplement sa propre perpétuation".*
>
> *>> l'important est d'être l'origine de la prochaine évolution""*

Les élèves nous paraissent donc avoir repéré en préparation l'idée que l'AFT juge important de discuter les objectifs de l'Humanité. Par ailleurs la seconde partie de la réplique 246 où l'élève affirme que le plus important *"serait d'être à l'origine d'une évolution prochaine"* sans retranscrire que cette assertion fait débat au sein du mouvement transhumaniste, est aussi quelque chose qui figure sur leurs fiches de préparation.

6.2.17 Propriété intellectuelle

Enfin, le débat proprement dit s'achève par une sollicitation de l'élève représentant la CFE-CGC par la gestionnaire de débat. Comme l'élève représentant les Amis de la Terre a mentionné l'expression de propriété intellectuelle, elle propose à cet élève représentant un syndicat d'intervenir sur ces questions. En effet, si la terminologie de propriété intellectuelle ne figure pas textuellement dans le cahier de la CFE-CGC, la question des dépôts de brevet y est discutée. Il est ainsi écrit :

> *"Les nanotechnologies vont permettre une explosion des innovations. Il serait judicieux de repenser notre système de brevetabilité pour en accroître la simplification et l'efficacité et le mettre plus facilement à la disposition du plus grand nombre." (CFE-CGC)*

puis un peu plus loin :

> *"Le brevet n'est plus seulement un outil de protection juridique, il est aussi une arme de protection anticoncurrentielle et une source de profits potentiels très importants." (CFE-CGC)*

L'élève-acteur représentant la CFE-CGC affirme cependant n'avoir rien à déclarer à propos des questions de propriété intellectuelle.

249	Gestionnaire de débat	D'accord. Donc vous allez sur quelque chose de différent d'un peu de tout ce qui est enjeux économiques soulevés par exemple par le CNRS et puis euh la CFE-CGC... *(Regarde sa montre)* Donc on va faire, donc prendre une, une ou deux dernières interventions. La CFE-CGC, tout à l'heure, il y a eu la mention de propriété intellectuelle qui a été, qui a été soulevée, est-ce que vous avez des choses à dire sur ces questions de propriété intellectuelle ?
250	Laurent - CFE-CGC	Euh... Non

Cette question sur la propriété intellectuelle ne suscite pas d'intervention de la part de l'élève. D'ailleurs en préparation, lui et son groupe n'avaient pas repris dans leur tableau ce que la CFE-CGC dit du système de brevetabilité. L'élève s'en tient donc ici à ce que lui et son groupe avaient noté en préparation.

La discussion prend fin ainsi. La gestionnaire de débat propose alors aux élèves-acteurs de refermer ce jeu de rôle en permettant à chacun de prononcer quelques mots de conclusion.

6.2.18 Tour de table final

Tous les élèves-acteurs s'expriment à tour de rôle pour proposer quelques phrases de conclusion à l'exception de l'élève représentant la FEBEA.

259	Gestionnaire de débat	Monsieur de la Fédération des Entreprises de la Beauté, donc vous utilisez du dioxyde de titane dans les crèmes solaires, qu'est-ce que vous voudriez dire, vous qui développez euh, certaines des applications pour euh la beauté, qu'est-ce que, pour les cosmétiques, qu'est-ce que vous voudriez dire pour la fin ?
260	Thomas - FEBEA	Euh... (*secoue la tête... Il regarde ses feuilles... Des rires secouent l'assemblée)* Je ne sais pas trop. *(Il secoue de nouveau la tête. Il y a des rires)*

Cet élève est le seul à n'avoir pas conclu. Tous les autres interviennent tour à tour pour proposer une phrase de conclusion.

6.2.18.1 Continuer l'évolution de l'homme et améliorer les conditions de vie

L'élève représentant l'AFT est la première à proposer une phrase de conclusion. Elle met en avant le thème de l'évolution de l'Homme qu'elle avait évoqué dans la réplique 246 ainsi que celui de l'amélioration des conditions de vie.

251	Gestionnaire de débat	Et euh, donc on va peut-être conclure ce, ce débat puisque il est, l'heure tourne. Donc on va vous laisser conclure donc euh chacun sur ce qui vous semble un point clé que vous voulez mettre en avant dans une phrase de conclusion. Donc on va commencer peut-être par madame des transhumanistes. Euh, qu'est-ce qu'il vous semble important pour conclure ce débat, de mettre en avant ?
252	Alice - AFT	Euh, que... que au fil des époques euh l'Homme a évolué et qu'il faut continuer cette évolution, pour permettre une, des meilleures conditions de vie et voilà. Enfin, c'est le but euh... voilà, c'est le but *(Ces 4 derniers mots sont lus sur ces lèvres plus qu'entendus).*

Comme nous l'avons noté au paragraphe 6.2.16, l'idée que l'Homme a évolué et qu'il faut continuer cette évolution a été répertoriée par les élèves en préparation du jeu de rôle.

Néanmoins, en déclarant que cette évolution de l'Homme serait justifiée pour "permettre de meilleures conditions de vie", l'élève propose une argumentation différente de celle proposée par l'Association Français Transhumaniste dans son cahier d'acteurs. L'AFT écrit en effet :

> *"**Quels sont nos objectifs ?***
> *Pourtant, les mêmes clament haut et fort leurs attaches humanistes. Ils admettent que le but ultime de l'espèce humaine est simplement sa propre perpétuation. Mais qu'est-il question de perpétuer si l'on admet que peuvent changer considérablement la pensée humaine et le support matériel qui l'abrite ? C'est un débat en cours. Certains Transhumanistes sont à la recherche de ce qui pourrait être l'ensemble des critères qui feraient qu'une pensée soit infailliblement reconnue comme humaine. Ou bien, ce qui est "important" se trouve-t-il dans la continuité ? Ce qui importe serait que nous soyons à la source, que la prochaine évolution vienne de notre « origine » ?*
> ***Que faire pour les atteindre ?***
> *A partir de là, la réflexion sur l'usage des nanotechnologies, comme de toute technologie en général, s'éclaire : le développement des nanotechnologies est souhaitable dans la mesure où il participe à l'augmentation des possibilités de l'humanité, où il contribue à perpétuer son existence et sa pensée." (AFT)*

Ce passage du cahier d'acteurs avait par ailleurs été noté par les élèves en préparation puisqu'elles avaient écrit :

> *"Pour atteindre les objectifs : "développement des nanotechnologie est souhaitable dans la mesure où il participe à l'augmentation des possibilités de l'humanité, où il contribue à perpétuer son existence et sa pensée".*

Les auteurs du cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste ne font donc pas vraiment référence à "l'amélioration des conditions de vie" pour justifier l'importance de développer les nanotechnologies, mais plutôt à l'augmentation des possibilités de l'humanité et à la perpétuation de son existence et de sa pensée.

La mention de l'amélioration des conditions de vie figure toutefois dans le cahier d'acteurs dans le petit paragraphe où l'AFT se présente en disant :

> *"Cette association s'est donnée pour objet de : "diffuser les thématiques et les questionnements relatifs aux technologies susceptibles d'améliorer et de prolonger la vie des individus et de l'espèce humaine. L'association se propose de promouvoir ces technologies, liées notamment au fonctionnement corporel et aux conditions de vie, aussi bien dans les domaines scientifiques, philosophiques, artistiques, etc.""* *(AFT)*

Finalement dans son intervention de conclusion, l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste reprend des éléments figurant dans le cahier d'acteurs de cette organisation (l'idée que l'Homme a évolué, celle qu'il faut continuer cette évolution, ou encore que l'AFT met en avant que les nanotechnologiers permettront l'amélioration des conditions de vie). Elle ne les met par contre pas explicitement en perspective avec l'idée de perpétuation de l'espèce et de la pensée humaine.

D'autres élève-acteurs soulignent aussi l'importance de développer les nanotechnologies dans les quelques mots qu'ils prononcent pour clôturer le jeu de rôle. C'est le cas de l'élève représentant le CNRS et le CEA.

6.2.18.2 Les nanotechnologies permettent un grand progrès technique dans tous les domaines

L'élève-acteur représentant le CNRS et le CEA parle des nanotechnologies comme d'un "grand progrès technique" dans sa dernière intervention.

263	Gestionnaire de débat	Euh monsieur du CNRS et du CEA, qui développez des recherches et notamment sur les nanotechnologies, qu'est-ce que vous voudriez dire pour finir ?
264	Arnaud - CNRS-CEA	Moi je dirais que c'est une bonne chose. Ça permet un, un grand pro... Ça fait un grand progrès technique dans toutes les, tous les domaines et... voilà, c'est... C'est essentiel.

L'idée que les nanotechnologies permettent un "grand progrès technique dans tous les domaines" est présente dans le cahier d'acteurs du CNRS et du CEA, notamment lorsque ses auteurs détaillent les domaines de recherches dans lesquels le CNRS et le CEA développent les nanotechnologies.

> *"Le CEA et le CNRS développent prioritairement leurs activités de recherche en nanosciences et nanotechnologies dans cinq secteurs :*
>
> *> Les énergies à faible impact climatique. Les recherches portent, par exemple, sur l'économie et le remplacement des matériaux rares pour les batteries ou le stockage de l'hydrogène, sur les cellules solaires bas coût, sur les matériaux d'isolation des bâtiments, ou encore sur des technologies propres et économes en ressources assurant la qualité de l'eau et de l'environnement.*
>
> *> Les applications médicales. Par exemple les capteurs d'imagerie médicale, les outils miniaturisés de diagnostic précoce, les technologies d'assistance aux gestes médicaux et chirurgicaux, les matériaux pour la médecine régénérative ou les nouveaux médicaments.*
>
> *> Les technologies de l'information et de la communication. La nanoélectronique succède à la microélectronique, avec des composants toujours plus petits, une consommation moindre et davantage de fonctions. De nouveaux usages deviennent possibles pour l'individu (communication mobile, Internet) et la collectivité (surveillance en temps réel des réseaux de transport, suivi par satellite des*

équilibres planétaires, prévisions météorologiques...). D'autres innovations sont explorées dans l'aide domotique aux personnes handicapées, ou le suivi médical personnalisé à distance.

> Les sciences des matériaux. Elles intéressent tous les secteurs scientifiques et technologiques. En transport aéronautique ou ferroviaire, par exemple, les nanomatériaux permettent de renforcer et d'alléger certains matériaux, ou encore d'améliorer leur tenue aux conditions extrêmes. Les recherches portent aussi sur les surfaces des matériaux, afin de leur donner des propriétés particulières : inaltérables, imperméables, propres, nano-lubrifiées...

> Les innovations techniques au service de la sécurité. Elles concernent toutes sortes de domaines, des systèmes de détection d'agents biologiques aux transactions financières." (CNRS-CEA)

L'élève-acteur propose donc une intervention cohérente avec le contenu de son cahier d'acteurs pour intervenir. Toutefois, il ne parle que de progrès technique, alors que dans leur cahier d'acteurs, le CNRS et le CEA nous semblent aller un cran plus loin. Ils parlent en effet de réponse au enjeux de recherche et de société du siècle naissant :

"Les travaux du CEA et du CNRS dans les domaines des nanosciences et des nanotechnologies répondent aux grands enjeux de recherche et de société du siècle naissant." (CNRS-CEA)

Tous ces éléments du cahier d'acteurs du CNRS et du CEA se retrouvent dans les fiches notés en préparation.

Dans un tableau correspondant à un thème qu'ils ont intitulé *"information"*, les élèves ont inscrit dans la case "thèses et arguments de l'acteur sur ce thème" :

"Thèse : Informer la population
(...)
- Il faut que les gens soutiennent les nanotechnologies :
"La recherche sert l'économie et la société"
"Les travaux du CEA et du CNRS dans les domaines des nanosciences et des nanotechnologies répondent aux grands enjeux de recherche et de société du siècle naissant"."

Par ailleurs, l'un des thèmes identifié par les élèves s'intitule *"Recherche/application"*, et dans le tableau qu'ils ont rempli associé à cette thématique, ils ont écrit :

" Thèse : Progrès techniques
Arguments :
- Remplacer des matériaux rares
- économe en ressource
- Propre
- Applications médicales : - capteurs d'imagerie médicale
- aide domotique aux personnes handicapées
- intéresse tous les secteurs scientifiques et technologiques ex : transport aéronautiques ou ferroviaire : renforce les matériaux et les allègent.
- propriété de certains matériaux inaltérables, imperméables, propres, nanolubrifiés
- ça vas aider à la sécurité."

Enfin, l'expression "c'est essentiel" n'apparaît pas ni dans le cahier d'acteurs fourni par le CNRS et le CEA à la CNDP ni dans les fiches remplies par les élèves. Finalement, dans cette prise de parole conclusive, l'élève nous paraît simultanément aller moins loin et plus loin que le CNRS et le CEA dans son cahier d'acteurs. Moins loin, car il ne met l'accent que sur les "progrès techniques" quand le CNRS et le CEA parlent de réponse "aux grands enjeux du siècle

naissant". Plus loin car il déclare que le développement des nanotechnologies est essentiel alors que le CNRS et le CEA n'emploient pas ce qualificatif dans leur cahier d'acteurs.

Un autre élève met aussi l'accent au moment de conclure sur l'intérêt de développer les nanotechnologies. Il s'agit de l'élève représentant l'Académie de Médecine.

6.2.18.3 Des avantages à développer les nanotechnologies en prenant toutefois des précautions

L'élève-acteur représentant l'Académie de médecine, lorsqu'il est amené à conclure, oppose alors dans sa phrase de conclusion l'intérêt de développer les nanotechnologies à leurs "nombreuses limites". Il se déclare donc favorable à ces développements mais en faisant "quand même attention".

253	Gestionnaire de débat	Monsieur de l'Académie de Médecine, qu'est-ce que vous diriez pour le mot de la fin, sur les nanotechnologies ?
254	Corentin - ANM	Bah je pense que bien qu'il faille les développer ces nanotechnologies, parce que ça peut certainement être intéressant, il y a certainement un but, il faut quand même faire attention, parce qu'il y a de nombreuses limites.

L'élève opère ici un balancement entre intérêt de développer les nanotechnologies et limites de ces développements. Ce balancement se retrouve d'une certaine manière dans le cahier d'acteurs de l'Académie de Médecine, qui commence par mettre en avant les possibilités ouvertes par la médecine tout au long de la première partie de son cahier d'acteurs. On peut ainsi lire par exemple :

> *"Les Nanosciences, en accroissant les capacités des mémoires informatiques, ont révolutionné les performances de toute l'électronique médicale, implantée ou non. Mais c'est dans la qualité du diagnostic et dans la puissance des traitements que les progrès apportés sont les plus spectaculaires." (ANM)*

Puis l'Académie de Médecine s'intéresse ensuite aux "*risques éventuels des Nano-Technologies pour la santé de l'homme*" et enfin aux problèmes éthiques dans un paragraphe intitulé :

> *"En médecine, les Nanosciences posent des problèmes éthiques nouveaux"*

Dans sa conclusion, l'élève représentant l'Académie de Médecine reprend ainsi schématiquement les grandes lignes du cahier d'acteurs de l'Académie de Médecine en restant très général.

Un autre élève-acteur propose aussi dans son intervention de conclusion de continuer à développer les nanotechnologies, tout en y apportant certaines nuances. Il s'agit de l'élève-acteur représentant la CFE-CGC.

6.2.18.4 Des moyens pour développer les nanotechnologies, favoriser la coopération entre centres de recherche et protéger les salariés

L'élève représentant la CFE-CGC conclut d'une part en affichant son soutien au développement des nanotechnologies qui doit passer selon lui par un déploiement plus important de moyens et une coopération accrue entre centres de recherche, et d'autre part en insistant sur l'importance d'instaurer des règles et de protéger les salariés.

261	Gestionnaire de débat	Euh monsieur euh donc du syndicat de la CFE-CGC euh...
262	Laurent - CFE-CGC	Euh bah moi je pense qu'il faut donc euh continuer à développer en investissant plus de moyens et en augmentant la coopération entre les différents centres de recherche et tout en gardant euh de, des règles et une protection pour les salariés qui travaillent dans ce domaine.

À propos d'investissements dans les nanotechnologies, la CFE-CGC écrit dans son cahier d'acteurs :

> *"La maîtrise des nanotechnologies constitue donc un enjeu stratégique pour notre pays, en termes d'emploi, de croissance et d'indépendance technologique." (CFE-CGC)*

> *"Une veille et une prospective performantes doivent être mises en place pour améliorer la pertinence des investissements en matière de recherche comme de production, dans les secteurs et les applications pour lesquels il y a un marché et pas trop de concurrents déjà engagés." (CFE-CGC)*

L'idée de continuer à développer les nanotechnologies en investissant plus de moyens dans ce secteur avait aussi été notée par les élèves étudiant le cahier de la CFE-CGC en préparation du jeu de rôle. L'un des trois thèmes que les élèves avaient alors identifiés a ainsi été intitulé "Améliorer les recherches" et dans le tableau associé, ils ont noté dans la case recommandation :

> *"- l'U-E doit encourager les États à décentraliser les aides aux PME au niveau régional ou local là où les administrations peuvent constater l'impact de ces aides*
> *- ↗ investissements"*

L'élève suggère également de renforcer les coopérations entre centres de recherche. À propos de coopération, la CFE-CGC formule, elle, plusieurs recommandations :

> *"Il est donc souhaitable de renforcer la coopération européenne en matière de recherche et d'identification des marchés porteurs. Compte tenu de la multiplicité des domaines d'application, il est probable que des PME-PMI performantes seront les plus à même à occuper rapidement les créneaux de marchés porteurs et à s'y développer." (CFE-CGC)*

La CFE-CGC préconise donc le renforcement des coopérations en recherche. Plus loin, il est aussi question de favoriser les "trans-disciplinarités" :

> *"L'innovation réussie en terme économique, est souvent le résultat de l'utilisation d'outils, de technologies et de connaissances issues d'un autre secteur. Il faut donc encourager les "trans-disciplinarités" et mettre en place un système gagnant/gagnant impliquant aussi bien le monde universitaire (comme aux États-Unis) les centres de recherche (public ou privé), l'État et les entreprises, sans oublier ceux qui sont au cœur de l'innovation, et qui sont très souvent "oubliés" à savoir les hommes et les femmes qui produisent les idées et qui les transforment en réalité." (CFE-CGC)*

La CFE-CGC ne parle alors pas seulement de favoriser les coopérations entre centres de recherche, mais de développer des partenariats publics/privés, et de faire collaborer "monde universitaire", "centre de recherche", "État", "entreprises" et "les hommes et les femmes qui produisent les idées et les transforment en réalité".

Cet accent sur le développement de nouvelles coopérations avait été relevé par les élèves. Dans la case "thèses et arguments de l'acteur" de ce thème, "Améliorer les recherches", ils avaient en effet noté :

> *"- Coopération entre privé, public, université*
> *et au niveau européen*
> *- réformer l'enseignement et favoriser les recherches transdisciplinaires*
> *- élargir le champs d'innovation dans divers secteurs."*

Enfin, l'importance de réguler les développements des nanotechnologies et de protéger les salariés soulignée par l'élève dans la fin de sa réplique se retrouve dans le cahier d'acteurs de la CFE-CGC. Dans la dernière partie de ce document, on peut ainsi lire à propos de la régulation des développements des nanotechnologies :

"La puissance publique doit utiliser davantage son pouvoir normatif et réglementaire pour favoriser la mise sur le marché de produits moins agressifs pour l'environnement et non toxiques pour la santé humaine. L'élaboration de normes européennes dans ce domaine serait d'ailleurs particulièrement utile pour à la fois prévenir des risques liés à l'importation de produits qui ne respecteraient aucune norme, mais également pour garantir aux citoyens un minimum de précautions prises avant la mise sur le marché de produits et services intégrant des nanocomposants. Nous rappelons que les normes, notamment aux États-Unis, servent également de barrière d'entrée à d'éventuels concurrents "extérieurs"." (CFE-CGC)

Quant aux questions de protection des salariés l'un des paragraphes s'intitule :

"Priorité : Protection des salariés"

et on peut par exemple lire :

"Une évaluation du risque permettra de mieux cerner l'exposition des salariés à des dangers avérés pour la santé. Ce problème concerne notamment les salariés qui dans le cadre de leurs activités professionnelles sont en contact avec les nanotechnologies. Mais la plus grande difficulté est de savoir qui produit / utilise des nanotechnologies et quels sont les travailleurs qui sont réellement exposés ?" (CFE-CGC)

"La prévention sanitaire en milieu professionnel est essentielle. Dans ce domaine, le rôle de la médecine du travail est incontournable."(CFE-CGC)

ou encore :

"Un tel système de recueil systématique des expositions individuelles permettra de favoriser la conduite d'études épidémiologiques au plan national. Ce dossier numérique serait géré par un organisme totalement indépendant de l'entreprise et du médecin du travail afin d'éviter toute possibilité de pression sur le salarié." (CFE-CGC)

La nécessité de réguler les développements des nanotechnologies comme celle d'assurer la protection des travailleurs du domaine des nanotechnologies étaient donc deux préoccupations présentes dans le cahier de la CFE-CGC.

6.2.18.5 Encadrer les développements des nanotechnologies et contrôler l'évolution de l'Homme

L'importance accordée par l'élève représentant la CFE-CGC à l'encadrement des développements des nanotechnologies se retrouve dans les propos de l'élève représentant la CNIL. Celui-ci suggère lui aussi dans sa phrase de conclusion qu'il est nécessaire d'instaurer des règles et estime aussi important de contrôler l'évolution de l'Homme promue quelques instants plus tôt dans le discours de l'élève représentant l'AFT.

265	Gestionnaire de débat	Hunhun. Monsieur de la Commission Nationale Informatique et Libertés, qu'est-ce que vous voulez dire pour conclure ?
266	Stéphane - CNIL	Bah moi c'est plutôt en rebondissant sur ce que madame des transhumanistes a dit. Donc avant de penser à l'évolution de l'Homme, il faudrait penser à sa sécurité et que donc il faudrait mettre des règles très claires et contrôler cette évolution qui peut être dangereuse euh, au fil des années, si on la cadre pas.
267	Gestionnaire de débat	Encadrer les développements des nanotechnologies...
268	Stéphane - CNIL	Voilà.

L'élève représentant la CNIL conclut en mettant en avant l'importance d'assurer la sécurité de l'Homme et pour cela de mettre en place des règles et de contrôler son évolution.

Comme nous l'avons mentionné au paragraphe 6.2.14, dans son cahier d'acteurs, la CNIL utilise toujours le terme "sécurité" dans le contexte de "sécurité des données". Difficile de savoir ici si l'élève représentant cette autorité l'utilise seulement dans ce sens ou plus largement.

Quant à l'importance de s'interroger sur la mise en place d'une régulation des nanotechnologies, c'est effectivement un élément que la CNIL met en exergue. Elle termine ainsi par exemple l'introduction de son cahier d'acteurs par ces mots :

> *"Bon nombre d'applications annoncées des nanotechnologies impliquent des traitements de données à caractère personnel. Cela amène naturellement à s'interroger au sujet des nouveaux enjeux qu'elles soulèvent en termes de protection de la vie privée et des libertés individuelles, ainsi qu'à propos des garde-fous à prévoir et de la capacité du cadre législatif actuel à répondre à ce nouveau défi technologique.*
>
> *Face à ces technologies, invisibles et ubiquitaires, comment assurer, de façon effective, le respect des principes fondamentaux de protection des données à caractère personnel ? Comment garantir le caractère proportionné de leurs usages, la limitation de la durée de conservation des informations, ou la sécurité des données ? Selon quelles modalités assurer l'information des personnes et l'exercice de leurs droits ? Enfin, quel mécanisme de régulation faut-il prévoir ?" (CNIL)*

La CNIL ne parle pas en revanche de réguler les nanotechnologies pour contrôler l'évolution de l'Homme comme le fait l'élève-acteur en réaction aux propos de l'élève représentant l'AFT.

6.2.18.6 Des risques non négligeables à prendre en compte

L'intervention suivant celle de l'élève-acteur représentant la CNIL est celle de l'élève-actrice représentant l'INRS. Cette élève rebondit sur ce qui vient d'être dit, tant pour marquer son accord avec le représentant de la CNIL que pour s'appuyer sur les propos de l'élève représentant la CFE-CGC.

269	Gestionnaire de débat	Et puis madame de l'Institut National de Recherche et de Sé... de la Sécurité euh, le mot de la fin est pour vous.
270	Anna - INRS	Je suis un peu dans le même sens que monsieur (*désignant Stéphane qui représente la CNIL - Quelques rires.)*, parce que les nanotechnologies présentent des risques non négligeables et comme l'a dit le syndicat tout à l'heure, il y aura de plus en plus de monde concerné, donc euh, c'est... il faut prendre en compte euh ces risques.

Dans cette dernière intervention, l'élève représentant l'INRS semble s'appuyer sur les interventions qui ont précédé la sienne. Elle met toutefois aussi en avant des éléments qu'elle et son groupe ont notés en préparation du jeu de rôle. Ainsi, sur la fiche de préparation où les élèves devaient expliciter leur classement des thèmes abordés dans le cahier d'acteurs par ordre d'importance, les élèves ont proposé le classement suivant :

> *1- toxicité des nanoparticules*
> *2- recherche sur les nanotechnologies/besoin de connaissances*
> *3- les populations exposées*

et elles ont écrit pour justifier cet ordre :

> *"Les nanotechnologies ont des effets sur la santé ⇒ tout le monde est concerné*
>
> *La recherche permet de mesurer le degré de toxicité et donc de mieux s'en protéger.*
>
> *Tout cela est très important à prendre en compte car le nombre de personnes exposées augmente."*

Lorsqu'elle affirme

> *"il y aura de plus en plus de monde concerné "*

et qu'elle en tire comme conséquence

> *"il faut prendre en compte euh ces risques."*

l'élève-actrice représentant l'INRS s'appuie donc sur ce qu'elle et son groupe ont noté en préparation du jeu de rôle.

Par ailleurs, l'idée que de plus en plus de gens sont directement concernés par les questions de toxicité des nanoparticules apparaît aussi dans le cahier d'acteurs de l'INRS. Lorsque cet institut discute des expositions travailleurs il est en effet écrit :

> *"Face au développement des nanotechnologies, l'exposition aux nanoparticules concerne un nombre croissant de travailleurs." (INRS)*

De plus, l'invitation à mieux prendre en compte les risques liés à l'utilisation des nanoparticules figure aussi explicitement dans le cahier d'acteurs de l'INRS. Dans la synthèse qui conclut ce document, on peut en effet lire :

> *"sans attendre que toutes les questions soient réglées, les éléments aujourd'hui disponibles, mêmes parcellaires, sont suffisants pour recommander la prudence et la mise en place de procédures spécifiques de prévention adaptées à chaque environnement professionnel." (INRS)*

Enfin, même si comme nous l'avons déjà mentionné, l'INRS souligne plusieurs éléments relatifs à la toxicité de certaines nanoparticules, en matière d'évaluation des risques cet institut n'écrit nulle part textuellement que les risques seraient "*non négligeables*" mais souligne plutôt la difficulté à les évaluer.

> *"Compte tenu des nombreuses inconnues liées aux nanoparticules et nanomatériaux, à leurs effets potentiels sur la santé et aux difficultés rencontrées pour caractériser l'exposition, une évaluation quantitative des risques s'avère difficile à mettre en œuvre dans la majorité des situations." (INRS)*

Enfin dans ce continuum de prises de position proposant une gamme de positionnements aux nuances diverses, deux élèves défendent l'idée d'un moratoire sur les développements des nanotechnologies.

6.2.18.7 Demande d'un moratoire pour développer la sécurité et les recherches en toxicologie

La première élève-actrice à demander un moratoire dans le tour de table conclusif est celle qui représente les Amis de la Terre. Elle avait déjà répercuté cette demande précédemment dans le débat, à la réplique 168 et ré-insiste ainsi sur cette prise de position au moment où le jeu de rôle s'achève.

255	Gestionnaire de débat	Madame des Amis de la Terre, est-ce que vous pouvez donner quelques mots pour finir ?
256	Miriam - AdlT	Nous, nous demandons un moratoire pour euh, pour développer la sécurité, la santé, liées à tout ce qui est la toxicologie avant de se lancer dans les grandes recherches... pour l'avenir.

Comme nous l'avions noté un peu plus haut, au paragraphe 6.2.11, l'élève-actrice fait ici écho à ce que les Amis de la Terre font ressortir en caractères gras dans la synthèse de leurs cahier d'acteurs.

*“**Pour les Amis de la Terre, un moratoire sur la recherche et la commercialisation des nanotechnologies est la seule attitude raisonnable.**” (AdlT)*

Par ailleurs, comme à la réplique 168, l’élève met seulement en avant les raisons liés aux aspects sanitaires et environnementaux invoquées par cette organisation pour justifier cette préconisation.

La demande de moratoire formulée au cours du débat par l’élève-actrice représentant les Amis de la Terre avait suscité l’approbation de l’élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes. C’est de nouveau le cas lors du tour de table final.

6.2.18.8 Demande d’un moratoire pour permettre de consulter la population et de développer les recherches en toxicologie

Juste après que l’élève représentant les Amis de la Terre se soit exprimée, c’est au tour de l’élève-actrice représentant la Fondation Sciences Citoyennes de prendre la parole.

257	Gestionnaire de débat	D’accord, madame de la Fondation Sciences Citoyennes, allez-y qu’est-ce que vous voudriez dire pour finir ?
258	Serena - FSC	Bah moi, je pense qu’on devrait arrêter euh, stopper un peu le développement pour euh, demander plus l’avis à la société ainsi que ce ne soit pas un... un abus privé, que ce soit *(mot incompréhensible)*, que ça touche tout le monde, et qu’on fasse plus de recherches sur les risques et la toxicité et la toxique *(mot difficile à entendre).*

L’élève reprend ici la demande d’un moratoire sur le développement des nanotechnologies de la même manière qu’elle l’avait formulée à la réplique 172. Puis, comme à la réplique 174, l’élève réclame que l’on demande l’avis de la société. Cet accent sur l’importance de l’avis des citoyens se retrouve à la fin du cahier d’acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes lorsque cette organisation formule des recommandations. La Fondation Sciences Citoyennes avance alors la proposition de voter une loi instituant les conventions de citoyens pour que les citoyens puissent peser dans les prises de décisions d’orientations scientifiques et technologiques.

“2. Loi constitutionnelle instituant les Conventions de citoyens chaque fois que cela s’avérera nécessaire. Notre proposition de loi précise les modalités de recrutement et de formation des panélistes, et d’élaboration de leur avis, afin que celui-ci soit préservé aussi bien des opinions mal informées que des intérêts particuliers, et puisse aider les élus dans leurs décisions tout en informant de façon crédible l’ensemble de la population” (FSC)

Cette précision sur l’objectif d’une prise en compte de l’avis des citoyens dans les décisions n’est pas explicitée ici par l’élève-actrice représentant la Fondation Sciences Citoyennes. L’élève justifie l’importance de déclarer un moratoire en invoquant d’autres motifs. Elle estime que prendre l’avis des citoyens permettrait :

“que ce ne soit pas un... un abus privé, que ce soit (mot incompréhensible), *que ça touche tout le monde,”*

L’idée que véhicule ici l’élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes nous semble inspirée du passage suivant du cahier d’acteurs qu’elle a étudié :

“Devrait-on laisser une application technologique, portée par des intérêts privés qui cherchent à la faire passer pour la seule source de progrès, s’imposer au point de changer fondamentalement la vie de la société ? N’est-ce pas à la société de faire des choix réfléchis sur son évolution dans des contextes environnementaux et sociaux en profond bouleversement, donc de décider si elle veut voir se développer

telle technologie, et si oui, à quel point, dans quelle finalité et dans quel cadre éthiquement délimité ?" (FSC)

Cette référence à un "abus privé" fait de plus écho d'une part à ce que les élèves ont noté dans le tableau "financements et lieux" où elles ont écrit entre autres :

"Tout pour privé"

et d'autre part, à la question "cet acteur définit-il ses missions et si oui, comment ?" où les élèves avaient répondu :

"Il définit ses missions en organisant des débats pour informer la société afin que le projet ne soit pas porter par des intérêts privés".

Enfin dans la dernière partie de sa réplique, l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes souligne comme l'élève représentant les Amis de la Terre, la nécessité de développer les recherches sur les risques et la toxicité. Cette insistance sur l'insuffisance des recherches sur la toxicité avait déjà été exprimée par cette élève-actrice lors des tours de parole 102 et 142. Elle ramène donc cette préoccupation sur le devant de la scène au moment de conclure. C'est aussi ce que fait la Fondation Sciences Citoyennes dans cahier d'acteurs. Dans la liste de propositions énumérées sur la dernière page de son cahier d'acteurs où l'on peut lire :

"3. Diversification et multidisciplinarité des recherches : 10% des budgets de financements Nanos en Sciences humaines et sociales et 10 % des budgets de financements Nanos pour l'écotoxicologie, l'écologie et l'épidémiologie, recrutement de chercheurs dans ces disciplines" (FSC)

À la différence de la Fondation Sciences Citoyennes, l'élève-actrice ne mentionne, elle, à l'oral, que la toxicologie. Elle ne donne par ailleurs pas de détails chiffrés et ne parle pas non plus de la demande d'augmenter les budgets allouées aux recherches en sciences humaines et sociales.

L'examen de la teneur des répliques des élèves à la lumière du contenu de leur cahier d'acteurs et de leurs fiches de préparation s'achève ici. Nous allons à présent refermer cette première partie d'analyse du contenu du jeu de rôle proprement dit en discutant de l'aperçu donné des controverses soulevés par les nanotechnologies au travers de cette discussion.

6.3 Quel aperçu des controverses au travers du jeu de rôle ?

Du point de vue de nos objectifs de recherche, un des enjeux de ce jeu de rôle était de sonder comment les élèves comprennent les discours sur les nanotechnologies auxquels ils sont confrontés. En outre, du point de vue éducatif, cette activité a été conçue pour permettre aux élèves d'entrevoir en temps court la diversité des interrogations et des positionnements relatifs aux développements des nanotechnologies.

Dans cette discussion, nous voudrions caractériser les éléments de réponses à ces deux enjeux que nous permet de tirer l'analyse du contenus des interventions des élèves tout au long du jeu de rôle. Nous allons d'abord revenir très brièvement sur la manière dont les élèves ont présenté les organisations qu'ils représentaient puis reviendrons sur le contenu des discussions en procédant volet de questionnement après volet de questionnement et en reprenant la catégorisation que nous avons faite émerger pour notre analyse des controverses.

6.3.1 Présentations des différents acteurs du jeu de rôle

Dans ce jeu de rôle, tous élèves-acteurs se sont appuyés sur le contenu de leur cahier pour présenter quelle était l'organisation dont ils avaient étudié les prises de position. Les élèves-acteurs ont ainsi donné un aperçu à l'auditoire reflétant assez bien quels étaient les organismes représentés dans ce jeu de rôle.

6.3.2 Questions sanitaires et environnementales

Le thème des questions sanitaires et environnementales a été surtout détaillé dans la première moitié du jeu de rôle.

Plusieurs élèves : celui représentant l'Académie de Médecine, celle représentant les Amis de la Terre, la Fondation Sciences Citoyennes, celui représentant la CFE-CGC, celle représentant l'INRS, ont mentionné les problèmes de toxicité des nanoparticules. Ces questions sont évoquées dès la première réplique où l'élève représentant les Amis de la Terre déplore l'absence de fonds accordés aux recherches sur leur dangerosité alors que le développement des nanotechnologies s'accompagne d'effets toxicologiques.

L'élève représentant l'INRS renchérit alors en citant l'exemple d'inflammations pulmonaires dues "aux nanotechnologies" présent dans son cahier d'acteurs. Elle radicalise toutefois quelque peu les propos de l'INRS en faisant disparaître les marques de prudence qu'affiche cet institut pour discuter des résultats de recherche. Plus tard, cette élève-actrice mentionne aussi l'influence de la taille des nanoparticules sur la toxicité et met en avant leur capacité à franchir les barrières organiques. De nouveau, elle gomme certaines nuances du discours de l'INRS qui précisait que ceci a été montré pour certaines nanoparticules et dans certaines conditions expérimentales.

Enfin, l'élève représentant l'INRS évoque aussi la multiplicité des paramètres influant sur la toxicité des nanoparticules. Elle cite la taille, la forme et la dispersion des nanoparticules. L'influence de ce dernier facteur est effectivement discuté dans le cahier d'acteurs de l'INRS mais seulement dans le cadre de la prévention des expositions professionnelles.

L'élève-actrice représentant les Amis de la Terre propose elle aussi quelques exemples pour illustrer les problèmes de toxicité et d'écotoxicité soulevés par l'utilisation des nanoparticules. Ces exemples sont tirés du cahier d'acteurs qu'elle et son groupe ont étudié en préparation. Cependant, lorsqu'elle cite les effets de la pollution des eaux par des nanoparticules sur certains poissons, l'élève représentant les Amis de la Terre fait un mélange entre plusieurs résultats mentionnés dans son cahier d'acteurs. Elle s'emmêle aussi un peu lorsqu'elle présente les effets de l'inhalation de nanoparticules de manganèse par des rats et ne fera ensuite que citer les autres modes d'exposition, par contact et ingestion. Elle parlera alors de "transmission" plutôt que d'exposition.

Pour leur part, les autres élèves discutant des problèmes de toxicité ne se réfèrent pas à des résultats précis d'études.

L'élève représentant l'Académie de Médecine explique que cette société savante a identifié l'existence d'une possible toxicité d'objets issus des nanotechnologies.

L'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes indique de son côté que "beaucoup de risques" accompagnent les développements des nanotechnologies alors même que les nanotechnologies sont déjà utilisées dans des produits courants. Elle durcit alors le propos de la Fondation Sciences Citoyennes qui déclare plutôt qu'on ne sait pas déterminer ces risques. Cette élève met aussi en avant le manque de connaissances sur les effets des nanoparticules. Là, l'élève-actrice tend de nouveau à radicaliser le propos de la Fondation Sciences Citoyennes en estimant qu'on ne disposerait à l'heure actuelle d'aucune connaissance.

Enfin, l'élève représentant la CFE-CGC pointe également, pour sa part, les incertitudes entourant les effets des nanotechnologies sur la santé des individus. Il insiste aussi sur la nécessité de prendre en compte les problèmes de santé des travailleurs accompagnant les développements des nanotechnologies et demande en conclusion du jeu de rôle de protéger les salariés, faisant alors écho à ce que la CFE-CGC regarde comme une "priorité" dans son cahier d'acteurs.

Lorsque la discussion aborde les questions de protection des travailleurs, la gestionnaire

de débat sollicite l'élève-actrice représentant l'INRS. Cependant, malgré les relances, l'élève ne développe pas les thèmes de la caractérisation et de la limitation des expositions aux nanoparticules.

L'élève représentant le CNRS et le CEA revient aussi sur les questions de toxicité et d'écotoxicité. Dans son cas, c'est pour souligner les initiatives de ces organismes de recherche pour y répondre. Il fait référence à la création de l'Inée (l'INstitut écologie et Environnement) en avançant que des recherches sur la toxicologie, la prévention des risques, l'instrumentation y sont menées. Si ces deux éléments sont bien mentionnés dans le cahier d'acteurs, il n'est cependant pas indiqué que ces recherches seraient mises en œuvre à l'Inée.

Enfin pour faire face à ces questions de toxicité, quelques élèves formulent des recommandations. Nous avons déjà mentionné que l'élève représentant la CFE-CGC avait demandé que les travailleurs soient protégés. Toujours en s'appuyant sur son cahier d'acteurs, cet élève ajoute, lors de son tour de parole de conclusion, qu'il faut instaurer des règles.

L'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes, elle, déplore l'absence d'information de la population. Elle réclame un renforcement des recherches sur les nanoparticules puisque leurs comportements ne répondent pas aux lois de la physique classique et estime, comme l'élève représentant les Amis de la Terre, que les budgets de recherche dédiés aux recherches en toxicologie sont insuffisants. Ces deux élèves portent aussi à l'oral des demandes de moratoires formulées dans leurs cahiers d'acteurs respectifs. L'élève représentant les Amis de la Terre exprime ainsi qu'il faudrait que les recherches marquent un coup d'arrêt pour prendre le temps de mener des études toxicologiques. Elle reprend alors une partie des prises de position et des arguments de l'organisation qu'elle représente. Quant à l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes, elle demande à ce qu'on "stoppe un peu" les recherches, pour faire des recherches sur la toxicité mais aussi pour demander "l'avis de la population". Nous reviendrons sur ce point un peu plus bas.

Enfin, au cours du tour de table final, l'élève-actrice représentant l'INRS retranscrit l'une des préconisations contenue dans son cahier d'acteurs en déclarant qu'il est nécessaire de prendre en compte les risques liés à l'utilisation des nanoparticules puisque de plus en plus de personnes sont concernées et que les risques ne sont pas négligeables.

Finalement ce passage en revue du contenu des échanges montre que les élèves discutent plusieurs questions relatives à la toxicité possible pour l'homme et l'environnement des nanoparticules et à la manière de gérer cette situation d'incertitude. Comme nous l'avions montré dans notre analyse des controverses au chapitre 4, ces interrogations occupent une place importante dans de nombreux cahiers d'acteurs.

Les élèves-acteurs se sont toutefois parfois montrés un peu imprécis, lorsqu'il s'est agi d'illustrer par des références précises les problèmes de toxicité de différentes nanoparticules.

Par ailleurs, le discours de deux élèves a, sur certains points, quelque peu schématisé le contenu de leur cahier d'acteurs. Ainsi, l'élève représentant l'INRS a eu tendance à passer sous silence les marques de prudence affichées par cet institut face aux résultats expérimentaux déjà obtenus et l'élève-actrice représentant la Fondation Sciences Citoyennes a elle, un peu forcé le trait sur le manque de résultats de recherche disponibles en toxicologie.

Dans cette mise en œuvre du jeu de rôle, certains aspects présents dans les cahiers d'acteurs ont de plus été peu développés. C'est notamment le cas des questions de protection des travailleurs et de prévention des expositions. L'élève représentant l'INRS ne les discute pas. L'élève représentant la FEBEA n'a pas mis en avant la rédaction d'un guide de bonne pratiques figurant dans son cahier d'acteurs... Seul l'élève représentant la CFE-CGC aborde ces questions d'une manière tout à fait cohérente avec le contenu de son cahier. Il reste cependant très général alors que lui et son groupe avaient relevé dans ce document des pistes précises à

mettre en place pour protéger les salariés.

Les questions de protection des consommateurs ne sont par ailleurs pas évoquées autrement que par l'allusion de l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes à la présence déjà effective de nano-produits de consommation courante dans notre quotidien. Cette élève et celle représentant les Amis de la Terre, ne doublent ainsi pas leurs demandes de moratoire sur les recherches ou les développements des nanotechnologies, par celle d'un moratoire sur leur commercialisation. De son côté, l'élève représentant la FEBEA ne mentionne pas non plus l'initiative de l'industrie des cosmétiques en matière d'étiquetage. Il a également tu le discours de cette fédération d'industriels présentant l'industrie cosmétique comme "pionnière en matière de réglementation".

À ce propos, les questions de réglementation sur les questions sanitaires et environnementales ont aussi été citées mais en restant à un grand niveau de généralité. Les élèves ayant étudié le cahier de la CFE-CGC avaient pourtant relevé des éléments précis sur ce thème qui n'ont pas été verbalisés dans le jeu de rôle. De même, les élèves ayant analysé le document de l'Académie de Médecine avaient identifié un thème nommé "législation" que l'élève-acteur n'a pas développé au cours du jeu de rôle.

Ainsi, il semble qu'au cours de cette activité de jeu de rôle, les élèves arrivent assez bien à cerner les questionnements liés aux problèmes sanitaires et environnementaux des développements des nanotechnologies, même s'ils ne restituent pas forcément à l'oral l'intégralité des éléments qu'ils ont noté en préparation du jeu de rôle ou qu'ils le restituent imprécisément ou en restant très généraux.

6.3.3 Utilisations en médecine

Dans l'ordre chronologique d'apparition des volets de questionnements abordés dans le jeu de rôle, les utilisations des nanotechnologies en médecine et les interrogations qui leur sont attachées arrivent en deuxième position.

La première élève à s'intéresser à ces questions est celle qui représente l'Association Française Transhumaniste.

Elle esquisse d'abord quelques perspectives ouvertes par les nanotechnologies pour la santé et l'amélioration des capacités de l'être humain et dès le début du débat, met en avant que l'argent débloqué pour les nanotechnologies permettrait *"d'améliorer encore ces améliorations"*. Cette déclaration en faveur de l'attribution de moyens à la recherche sur les nanotechnologies figure explicitement dans le cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste. Dans ce document, cette organisation tire de plus comme conséquence de ces perspectives d'utilisations des nanotechnologies en médecine qu'il est nécessaire de mener une réflexion sur l'humain. À cet endroit du débat, l'élève ne fait cependant pas écho à cette conclusion. Elle s'y intéresse en revanche plus tard, vers la toute fin du jeu de rôle, lorsqu'elle soulève la question de l'objectif de l'Homme sur Terre. L'élève-actrice souligne alors l'importance que l'Homme soit à l'origine d'une évolution prochaine. Elle s'inspire ici de ce qu'écrit l'AFT lorsqu'elle se déclare partisane d'une mutabilité de l'Humain et qu'elle indique l'existence d'un débat au sein du mouvement transhumaniste sur ce qu'il s'agit de perpétuer pour perpétuer l'Humanité. Dans ce cadre, l'Association Française Transhumaniste mentionne que certains de ses membres estiment que ce qui importerait serait que *"la prochaine évolution vienne de notre « origine » "*.

Enfin, lors du tour de table de conclusion, l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste répercute de nouveau l'idée que l'Homme a évolué, qu'il faudrait continuer cette évolution mais aussi que les nanotechnologies permettront l'amélioration des conditions de vie. Toutefois, elle ne met pas explicitement ces éléments en perspective avec l'idée de perpétuation de l'espèce et de la pensée humaine comme l'AFT le fait dans son cahier d'acteurs.

Ainsi, l'élève représentant l'AFT porte à l'oral plusieurs objets de préoccupation centraux dans le cahier de l'association qu'elle représente. Cependant, si elle exprime plusieurs des points de vue de cette organisation, elle ne reproduit pas toujours le raisonnement proposé dans le cahier d'acteurs pour les étayer.

Par ailleurs, à deux reprises, alors que l'élève aborde d'autres questionnements, la gestionnaire de débat tend à la ramener sur les questions d'utilisations en médecine. Ainsi, lorsque l'élève-actrice souligne que l'AFT prône un développement des nanotechnologies sans précipitation, la gestionnaire de débat l'incite à se recentrer sur les raisons qui poussent cette organisation à se déclarer favorable à ces développements. L'élève actrice représentant l'AFT fait alors référence aux positions de cette association en faveur de l'évolution de l'humain et d'une augmentation de l'espérance de vie. Enfin, quand l'élève-actrice représentant l'AFT intervient pour souligner les perspectives d'utilisation des nanotechnologies pour dépolluer les hydrocarbures, la gestionnaire de débat l'incite à revenir sur les perspectives d'utilisation en médecine.

Outre ces interventions de l'élève représentant l'AFT, un autre acteur prend la parole à plusieurs reprises pour discuter des utilisations en médecine des nanotechnologies. Il s'agit de l'élève représentant l'Académie Nationale de Médecine. Il intervient d'abord au début de jeu de rôle en citant certains éléments de son cahier d'acteurs pour illustrer les possibilités ouvertes par les développements des nanotechnologies pour la santé et plus largement pour le quotidien des individus. Les exemples qu'il propose sont ceux qui se rattachent aux utilisations rendues possibles par la convergence NBIC mentionnées dans le cahier d'acteurs de l'ANM. À ce moment du débat, cet élève fait aussi une allusion un peu vague au fait que peu "d'effets directs" auraient été constatés du fait des dispositions encadrant les réalisations issues des nanotechnologies. Dans le cahier d'acteurs de cette société savante, ces effets directs se rapportent cependant plutôt aux questions sanitaires et environnementales posées par l'utilisation des nanoparticules. L'élève représentant l'ANM n'en répercute pas moins certains questionnements "éthiques" soulevés par les utilisations des nanotechnologies pour la médecine. Il mentionne ainsi les problèmes de dérives eugénistes et estime qu'il s'agit là d'une "limite de ces projets nanotechnologiques". Il parle également des avancées permises par les nanotechnologies pour le diagnostic, des problèmes de "traçabilité" ou encore de "piratage de données génétiques". Toutefois ces éléments sont juste mentionnés et le discours de l'élève rend difficile de déterminer s'il les met en lien avec son propos sur l'eugénisme, ou s'il les cite simplement en vrac comme autant de questionnements éthiques singuliers posés par les nouvelles possibilités ouvertes en médecine.

Enfin, une autre élève intervient pour discuter des interrogations suscitées par les utilisations des nanotechnologies pour intervenir sur le corps humain. Juste après que l'élève-acteur représentant l'Académie de Médecine ne soit intervenu en mentionnant les questions d'eugénisme, l'élève représentant les Amis de la Terre exprime ses craintes d'une "artificialisation de l'humain". Incitée par la gestionnaire de débat à préciser sa pensée, elle parle alors de traçage des individus et de questions de propriété intellectuelle. Si ces différents objets de discussion sont bien abordés dans le cahier d'acteurs, ils ne sont toutefois pas articulés dans ce document avec les prises de position des Amis de la Terre sur l'artificialisation l'humain.

Finalement, il nous semble que les élèves ont souvent assez bien repéré tout ce qui a trait aux perspectives d'utilisations des nanotechnologies en médecine. L'élève représentant l'ANM ne cite cependant qu'une partie des possibilités évoquées par la société savante qu'il représente dans son cahier d'acteurs, privilégiant certaines réalisations issues de la NBIC plutôt que les progrès pour le diagnostic ou la mise au point de nouveaux médicaments. L'élève-actrice représentant l'AFT met elle aussi en avant les perspectives ouvertes par les nanotechnologies

en médecine mentionnées dans son cahier d'acteurs. Dès les premières lignes, elle souligne les possibilités éventuelles d'amélioration des capacités humaines. Elle revient aussi sur les réflexions de l'Association Française Transhumaniste sur l'Humain et les objectifs de perpétuation de l'espèce humaine mais sans, nous semble-t-il vraiment les mettre en perspective avec cette idée d'amélioration des capacités humaines.

En revanche pour ce qui concerne les questionnements soulevés par les utilisations des nanotechnologies, il n'apparaît pas clairement au travers de l'analyse du contenu du jeu de rôle que les élèves aient toujours compris en profondeur les problèmes détaillés dans leur cahier d'acteurs. Ainsi, le groupe d'élèves étudiant le cahier d'acteurs de l'ANM semble avoir repéré les interrogations touchant aux dérives eugénistes. Dans son discours à l'oral l'élève montre qu'il connaît la signification de ce terme. Toutefois, appelé à expliquer pourquoi il mentionne ce point en particulier, il invoque les possibilités de diagnostic personnel, les problèmes de traçabilité et ceux de protection de données sur les patients, présents dans le cahier de la ANM sans y être mis explicitement en lien avec les questions d'eugénisme. Ce rapprochement entre divers questionnements évoqués par l'ANM se retrouve aussi dans les fiches remplies en préparation du jeu de rôle. Enfin, l'élève représentant les Amis de la Terre pour expliciter les inquiétudes de cette association face à une possible "artificialisation de l'être humain", fait écho aux questions de traçage et de propriété intellectuelle qui ne sont pas mises en lien dans le cahier d'acteurs avec les prises de position des Amis de la Terre sur l'artificialisation l'humain.

Enfin pour ce qui concerne l'aperçu donné à l'auditoire des questions relatives aux utilisations en médecine des nanotechnologies, l'élève représentant l'AFT a donné aussi voix à des aspects selon nous plus mineurs de son cahier d'acteurs. Ceci nous a conduit, lors de notre gestion du débat, à tenter de l'amener à se recentrer sur les utilisations des nanotechnologies en médecine, en particulier pour améliorer les capacités de l'humain, de manière à ce que les élèves ne sortent pas avec un aperçu trop déformé des préoccupations développées dans le cahier d'acteurs de l'AFT.

6.3.4 Protection des libertés

Le thème de la protection des libertés est abordé assez tard dans le débat, lorsque l'élève représentant la CNIL se manifeste.

Dès sa première réplique, il mentionne les problèmes de protection des libertés largement détaillés dans le cahier d'acteurs de la CNIL. Il parle aussi de problèmes de sécurité. Ceux-ci sont également évoqués dans le document produit par la CNIL, mais seulement pour ce qui concerne de la sécurité des données. L'élève-acteur explique que ces problèmes résultent de la miniaturisation des puces et de leur quasi indétectabilité. Il s'appuie alors seulement sur une partie des raisons que la CNIL met en avant dans son cahier d'acteurs pour rendre compte de l'émergence de ces nouvelles menaces pour les libertés. La CNIL souligne en effet deux propriétés supplémentaires de ces puces : elles sont disséminées massivement et peuvent communiquer à distance.

L'élève-acteur évoque ensuite le scénario d'un *"clonage mental des personnes"* envisagé dans le cahier d'acteurs de la CNIL. Il explique en effet, en s'inspirant de l'argumentaire de la CNIL, que les individus se sachant perpétuellement surveillés, se fondraient dans le moule d'un citoyen modèle. D'après le contenu des fiches remplies par les élèves, il semble par ailleurs qu'ils aient surtout associé ce possible "clonage mental" à l'utilisation de puces implantées dans le corps humain.

L'élève-acteur représentant la CNIL discute alors des usages des puces électroniques. Il tend à opposer des utilisations abusives de puces sous-cutanées pour tracer les gens à des usages pouvant s'avérer utiles. Il donne deux exemples. Celui des puces utilisées dans certaines boîtes de nuit servant à "connaître des informations" sur les individus apparaissant

dans le cahier de la CNIL et celui de puces qui serviraient à guider les consommateurs dans les supermarchés n'apparaissant pas dans ce document. D'autres usages potentiels avaient d'ailleurs été imaginés par lui et son groupe en préparation du jeu de rôle comme l'utilisation pour "*tracer les criminels et les portés disparus*" ou encore "*pour les problèmes de qualité avec les OGM*".

La gestionnaire de débat demande alors à l'élève-acteur quelles recommandations formule la CNIL. Il répond en estimant que la réponse réside dans la mise en place de limites, pour cadrer à la fois la recherche et surtout les utilisations des nanotechnologies. Encouragé à expliciter ce qu'il entend sous le terme de limites, l'élève suggère que si certaines utilisations pour la santé sont bénéfiques, l'usage de nanotechnologies par exemple pour connaître les opinions politiques des gens relève d'un "détournement de science". Il recourt ici à des exemples et des expressions qui ne figuraient pas dans le cahier de la CNIL.

Enfin, cet appel à l'instauration de règles se retrouve dans sa phrase de conclusion. L'élève-acteur représentant la CNIL conclut en effet en insistant notamment sur l'importance d'assurer la sécurité de l'Homme et pour cela sur la nécessité de mettre en place des règles.

Assez naturellement, vu le contenu des cahiers d'acteurs distribués aux élèves, c'est principalement l'élève représentant la CNIL qui a discuté des question de menaces pour les libertés lors du jeu de rôle. Cependant deux élèves effleurent aussi cette thématique du bout des lèvres.

D'abord, l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste réagit à l'intervention de l'élève représentant la CNIL. Elle se défend que l'organisation qu'elle représente, en prônant le développement des nanotechnologies, soit contre la protection des libertés. Elle réaffirme à l'instar de ce qu'on peut lire dans son cahier d'acteurs, que l'AFT soutient le développement des nanotechnologies, puis déclare que la pensée est liée au corps et que l'État doit placer des limites aux utilisations des nanotechnologies. En se positionnant ainsi sur le rôle de l'État, l'élève-actrice soutient un point de vue qui n'apparaît pas dans le cahier d'acteurs de l'AFT. De même, en estimant qu'au travers de la promotion du développement des nanotechnologies, l'AFT n'irait pas à l'encontre des libertés des Hommes, l'élève apporte dans le jeu de rôle un élément ne figurant pas dans le document qu'elle a étudié en préparation.

L'AFT discute pourtant du rôle de l'État et de liberté lorsqu'elle pose la question du contrôle de l'État sur les modifications de l'humain. La liberté à laquelle s'intéresse alors l'AFT concerne donc la liberté de disposer de son corps pour l'améliorer. De plus, plutôt que de demander un encadrement des utilisations des nanotechnologies, cette association nous semble suggérer que l'État devrait laisser aux individus le choix d'améliorer leur corps s'ils le souhaitent, pour ne réguler que plus tard, en fonction des effets concrets d'une éventuelle diversification de l'espèce humaine.

L'autre élève évoquant la question des libertés est l'élève représentant les Amis de la Terre. Vers la fin du jeu de rôle, après que l'élève représentant l'Académie de Médecine se soit exprimé sur les questions d'eugénisme, l'élève-actrice des Amis de la Terre porte les craintes de l'organisation qu'elle représente face à la possible "artificialisation de l'humain". Poussée par la gestionnaire de débat à expliciter ce qu'elle entend par là, elle parle alors de traçage des individus et de questions de propriété intellectuelle et semble insinuer que ces deux thématiques seraient liées l'une à l'autre. Elle ne développe cependant pas plus ces problèmes de traçabilité.

Finalement, pour ce qui concerne les interrogations entourant les menaces pour les libertés, les élèves étudiant le cahier d'acteurs de la CNIL semblent avoir assez bien saisi ce qui était en jeu. L'élève représentant la CNIL répercute les problèmes de traçage des individus, discute du bien-fondé de certains usages, souligne l'importance de mettre en place un encadrement adéquat. Les interventions de cet élève ont ainsi permis d'introduire de manière assez claire

certains des questionnements relatifs à la protection des libertés et ont donné une chance à l'auditoire d'avoir un premier aperçu des interrogations soulevées par les développements des nanotechnologies sur ce thème.

Lorsqu'il explique pourquoi les libertés pourraient être menacées, l'élève-acteur représentant la CNIL ne reprend cependant que le problème de la miniaturisation des puces électroniques sans insister sur l'idée de dissémination massive, de communication entre objets et de perte de maîtrise. Il reste aussi assez allusif sur les pistes de régulation proposées par la CNIL pour parer à ces menaces pour les libertés. Son discours s'écarte enfin par endroits de celui du cahier d'acteurs qu'il a étudié, en particulier dans le choix des exemples qu'il propose pour discuter des usages. En préparation, lui et son groupe avaient ainsi mentionné des utilisations de puces "pour tracer des criminels" ou pour attester de la présence d'OGM dans les produits. Ces exemples, peut-être ajoutés par les élèves pour avoir en réserve de quoi illustrer leur propos, reflètent des préoccupations dans l'air du temps mais sont bel et bien absents du cahier d'acteurs de la CNIL. Enfin l'expression qu'emploie l'élève représentant la CNIL de "détournement de science" peut laisser penser qu'il considère la science comme une entité essentiellement neutre ou porteuse de progrès qui serait parfois dévoyée par la malignité humaine.

Outre ces résultats issus de l'analyse des interventions de l'élève représentant la CNIL, les répliques de l'élève représentant les Amis de la Terre ne permettent pas de déterminer si les élèves ayant étudié ce document ont bien cerné le positionnement de cette organisation face aux menaces pour les libertés individuelles. Nous aurions tendance à en douter vu que l'élève-actrice met en lien ces interrogations avec l'artificialisation de l'humain et surtout avec les questions de propriété intellectuelle.

Enfin, il nous semble que l'élève représentant l'AFT a extrapolé à partir de la présence du terme liberté figurant dans son cahier d'acteurs pour prendre position sur la protection des libertés. Il n'est donc pas certain qu'elle ait bien compris le point de vue de l'AFT sur le degré de contrôle que l'État devrait exercer sur la liberté des individus à disposer de leur corps.

6.3.5 Rapport entre développements technoscientifiques et démocratie

Au cours du jeu de rôle, les interventions pouvant se rapporter au volet de discussion sur les rapports entre développements technoscientifiques et démocratie ont été de trois ordres. Certaines concernent la demande d'un encadrement des nanotechnologies. D'autres sont relatives aux questions d'information des citoyens. Enfin l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes est intervenue sur les questions de participation des citoyens et de mise en débat des développements des nanotechnologies.

Nous sommes déjà revenus sur la demande d'instaurer certaines règles pour protéger les travailleurs ou pour réguler certains usages des nanotechnologies. L'élève représentant la CFE-CGC s'exprime aussi plus globalement sur la nécessité de réguler les développements des nanotechnologies. Il puise dans son cahier d'acteurs des considérations sur de possibles utilisations néfastes des nanotechnologies rendant nécessaire l'adoption de règles. Il répercute alors l'idée ébauchée par la CFE-CGC que les nanotechnologies ne feraient ainsi pas exception à la règle dans l'histoire des innovations.

L'élève représentant le CNRS et le CEA revient lui aussi sur les problèmes de régulation. Comme pour les questions de toxicité, il fait valoir les initiatives des organismes de recherche qu'il représente pour répondre aux questionnements soulevés par les nanotechnologies. Il mobilise ainsi le contenu de son cahier d'acteurs pour souligner les efforts du CNRS et du CEA pour tenir compte des interrogations éthiques, citant notamment la création du Comets. S'il force ici légèrement le trait en avançant que des règles éthiques "très strictes" auraient été mises en place quand le CNRS et le CEA parlent d'une "éthique à construire", il nous semble

cependant répercuter fidèlement l'accent que les auteurs du cahier d'acteurs ont appuyé sur la "démarche responsable" de ces organismes.

Dans le cahier d'acteurs cette démarche responsable passe par trois actions : la prise en compte des risques sanitaires et le déploiement de moyens pour participer à les prendre en compte ; la mise en place d'une réflexion éthique ; le dialogue avec les citoyens. L'élève-acteur représentant le CNRS et le CEA fait vivre ces trois points.

Il met en effet également en avant les efforts de ces organisations pour "informer les gens". Ainsi il insiste, à la manière de ce qui est écrit dans son cahier d'acteurs, sur les initiatives des organismes qu'il représente pour répondre aux interrogations des gens et mettre à disposition des supports d'information. Ces éléments avaient par ailleurs été notés en amont du jeu de rôle. Les élèves avaient à ce moment explicité certains des objectifs qu'ils associaient à ces efforts d'information : sensibiliser aux risques ; informer pour éviter que les gens aient peur ; informer pour obtenir le soutien des gens aux développements des nanotechnologies.

Enfin, la première élève à introduire dans la discussion les questions d'information des citoyens a été l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes. Nous avons déjà indiqué qu'elle avait déploré l'absence d'information des gens au moment où elle mentionnait l'existence de nano-produits déjà utilisés quotidiennement. Elle revient ensuite sur ce thème lorsque, faisant alors écho au contenu de son cahier d'acteurs, elle demande un moratoire sur les développements des nanotechnologies. Elle justifie alors une première fois cette demande en pointant l'absence d'information des citoyens en dépit de l'importance des budgets investis et de la présence des "nanoproduits" dans notre quotidien.

L'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes insiste ainsi dans un premier temps sur le problème de l'information des citoyens sans le mettre spontanément en perspective avec les considérations de la Fondation Sciences Citoyennes sur l'importance d'une participation citoyenne aux prises de décisions.

La gestionnaire de débat questionne alors l'élève-actrice sur les débats publics. En réponse, l'élève répercute la critique de la Fondation Sciences Citoyennes qui déclare que ces débats sont là pour faire accepter les nanotechnologies et non pour permettre aux citoyens de participer. L'élève s'appuie alors sur le contenu de son cahier d'acteurs pour affirmer que cela fait 10 ans que les nanotechnologies sont utilisées et que leur mise en débat intervient alors que leurs développements sont engagés.

Elle propose alors de nouveau de stopper ces développements, pour permettre une mise en débat et mieux orienter les financements octroyés.

Enfin, dans son intervention finale, l'élève-actrice représentant la Fondation Sciences Citoyennes ré-itère une fois encore sa demande d'un moratoire et la motive en soulignant la nécessité de prendre l'avis des citoyens d'une part pour éviter que le développement des nanotechnologies ne donne lieu à des "abus privés" et d'autre part pour que des recherches en toxicologie puissent être conduites.

Si l'on dresse un bilan de la manière dont a été discutée la façon dont les nanotechnologies se développent en démocratie, trois éléments nous semblent à souligner.

D'abord, les élèves ayant étudié le cahier d'acteurs du CNRS et du CEA nous semblent avoir bien identifié en préparation ce qui a trait à la "démarche responsable" revendiquée par ces organismes de recherche. Les visées qu'ils associent sur leurs fiches de préparations aux efforts d'informations des gens nous paraissent aussi montrer que les élèves ont compris les motifs affichés par le CNRS et le CEA.

Pour sa part, l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes a, nous semble-t-il, saisi un certain nombre de questionnements présents dans son cahier d'acteurs (absence d'information des citoyens, importance de consulter l'avis des citoyens, procédures de débats insatisfaisantes car se résumant à des manœuvres d'acceptabilité). Il n'est cependant pas cer-

tain que la façon dont elle restitue ces prises de positions dans le jeu de rôle permette au reste de la classe de bien comprendre les points clés du positionnement de la Fondation Sciences Citoyennes. De plus, la référence à la demande de participation effective des citoyens aux prises de décision n'apparaît que tard dans le jeu de rôle, lorsque l'élève critique les procédures de débats publics. Cette insistance tardivement marquée sur l'importance d'une appropriation citoyenne des enjeux des développements des nanotechnologies pour peser sur les décisions est peut-être due au fait que les élèves étudiant le cahier de la Fondation Sciences Citoyennes n'avaient pas dégagé cet objectif ou en tout cas ne l'avaient pas fait apparaître de manière explicite dans les fiches remplies en préparation. Cela ne faisait alors pas partie des points de vue que l'élève-actrice souhaitait faire valoir prioritairement.

Enfin dans sa critique des procédures des débats organisés par la CNDP, l'élève, poussée par la gestionnaire de débat ne parle que de l'absence de visée participative et du moment, trop tardif, choisi pour organiser ce débat. Elle ne reprend pas l'importance de proposer une expertise multiple, le problème d'information des citoyens participant et la proposition formulée par la Fondation Sciences Citoyennes d'instaurer des conventions de citoyens pour permettre la formulation d'avis dûment informés. Enfin, elle ne précise pas que les débats qu'elle critique sont ceux organisés par la CNDP.

6.3.6 Interactions entre enjeux économiques et sociaux et développements technoscientifiques

Outre les demandes de moratoire ou de réorientation des budgets de recherche que nous avons déjà mentionnées dans les paragraphes précédents, les interventions se rapportant aux enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies peuvent être organisées en quatre catégories :

- celles détaillant certaines réalisations présentées comme socialement utiles ;
- celles pointant les enjeux économiques de ces développements, notamment en terme d'emplois générés ;
- celles suggérant des pistes pour ne pas passer à côté de ces perspectives économiques ;
- celles enfin portant sur les questions de propriété intellectuelle.

Au chapitre des réalisations présentées comme socialement utiles, figurent les applications des nanotechnologies dans le domaine de la santé évoquées plus haut. Ce n'est cependant pas tout. L'élève-actrice représentant l'Association Française Transhumaniste évoque les projets d'utilisation des nanotechnologies mentionnés dans son cahier d'acteurs, pour dépolluer les hydrocarbures. Elle fait alors valoir que ces développements contribuent à lutter contre la pollution. Dans le cahier d'acteurs de l'AFT, cet exemple n'était toutefois pas un élément pivôt du discours de l'AFT qui l'utilisait comme un exemple pour illustrer le fait que les nanotechnologies et en particulier les nouveaux matériaux contribuaient à modifier le "naturel".

Lors du tour de table refermant le jeu de rôle, l'élève représentant la CNRS et le CEA estime pour sa part, en s'inspirant du contenu du cahier d'acteurs du CNRS et du CEA, que les nanotechnologies permettent de "grands progrès techniques" et que leur développement est essentiel.

Cet élève représentant le CNRS et le CEA avait par ailleurs évoqué au cours du jeu de rôle des arguments économiques pour battre en brèche la proposition d'imposer un moratoire sur les recherches ou le développement des nanotechnologies proposé par les représentantes des Amis de la Terre et de la Fondation Sciences Citoyennes. Si ce point de vue n'est pas explicité dans le cahier d'acteurs du CNRS et du CEA, les arguments avancé par l'élève y figurent. Il souligne ainsi à la suite de ces organismes de recherches, d'abord que ces développements sont engagés depuis plus de 10 ans puis rappelle que les nanotechnologies représentent 6500 emplois au CNRS et au CEA.

Les enjeux économiques attachés au développement des nanotechnologies sont également discutés par l'élève représentant la CFE-CGC au moment où il se déclare aussi en faveur de la poursuite du développement des nanotechnologies. Pour étayer cette prise de position, il fait écho au contenu du cahier d'acteurs produit par la CFE-CGC en pointant les perspectives d'emplois ouvertes par les nanotechnologies. Il met aussi en avant que développer les nanotechnologies permet à la France d'être dans une situation d'indépendance technologique vis à vis de l'extérieur. Enfin, toujours en s'appuyant sur son cahier d'acteurs, il cite les chiffres du marché des nanotechnologies à l'horizon 2020.

Cet élève reproduit par ailleurs les dispositions favorables de la CFE-CGC à l'égard des développements des nanotechnologies lors du tour de table de conclusion. Il avance alors deux pistes pour favoriser ces développements : débloquer plus de moyens et développer les coopérations entre centres de recherche. Ces propositions sont inspirées du contenu du cahier d'acteurs, sans y coller tout à fait exactement puisque la CFE-CGC appelle plutôt un meilleur déploiement des moyens et parce qu'en matière de coopération la CFE-CGC va plus loin en demandant aussi de développer des partenariats publics/privés, et de faire collaborer "monde universitaire", "centre de recherche", "État", "entreprises" et "les hommes et les femmes qui produisent les idées et les transforment en réalité".

Enfin la dernière élève-actrice à s'être exprimée sur les questionnements d'ordre économique et social est l'élève représentant les Amis de la Terre qui a introduit dans le débat les questions de propriété intellectuelle. Relancée par la gestionnaire de débat pour expliciter le point de vue de l'organisation qu'elle représente sur ce thème, l'élève admet ne pas être capable de fournir plus de détails. De plus, comme nous l'avons déjà indiqué, elle semble dans son discours lier propriété intellectuelle et protection des libertés individuelles.

Finalement au terme de ce tour d'horizon des interventions des élèves relatives aux interactions entre enjeux économiques et sociaux et développements technoscientifiques, nous voudrions revenir sur trois choses.

D'abord, les élèves dont les cahiers d'acteurs soulignent l'importance des enjeux économiques (CNRS-CEA et CFE-CGC) ont bien identifié ces thèmes et les ont aussi introduits dans la discussion. L'élève représentant la CFE-CGC n'indique par contre que quelques pistes pour permettre dans la France de rester dans la course alors que le cahier d'acteurs de ce syndicat est plus disert sur cette question.

Ensuite, parmi les élèves soulignant les réalisations permises par les nanotechnologies, l'élève représentant l'AFT met en exergue la dépollution, un point relativement secondaire dans son cahier d'acteurs. On peut peut-être faire l'hypothèse que l'élève met l'accent sur cet exemple parce qu'il lui est parlant ou qu'il renvoie à des préoccupations contemporaines de préservation de l'environnement.

Enfin, et c'est le dernier point que nous souhaiterions souligner, la remise en cause du modèle économique et social sous-tendant le développement des nanotechnologies que nous avions identifiée dans notre analyse des controverses a du mal à émerger dans la discussion. Ce thème fait une timide apparition lorsque l'élève-actrice représentant la Fondation Sciences Citoyennes demande à ce que ce ne soit pas "un abus privé" qui décide et oriente le développement des nanotechnologies. Cependant parmi l'échantillon des cahiers d'acteurs distribués aux élèves, cette dimension de la controverse transparaissait essentiellement dans le document fourni par les Amis de la Terre et il n'est pas sûr que les élèves étudiant ce cahier aient bien compris le discours de cette association sur ce point. Deux éléments peuvent plaider en ce sens. D'abord l'élève-actrice représentant les Amis de la Terre est mise en difficulté lorsque la gestionnaire de débat lui demande d'expliciter ce qu'elle entend lorsqu'elle parle de propriété intellectuelle. Ensuite, lorsque faisant appel au contenu de son cahier d'acteurs, l'élève-actrice réclame un moratoire sur les développements des nanotechnologies, elle le justifie seulement

en rappelant la nécessité de mener au préalable des études de toxicologie et non en demandant que soient également réglés l'ensemble des problèmes "sociaux, économiques, éthiques". Ainsi, il nous semble que l'élève-actrice représentant les Amis de la Terre n'a pas porté fermement les questionnements d'ordre économique et social dans le débat.

6.4 Analyse de l'argumentation

Au cours de ce jeu de rôle, nous avons repéré assez peu d'endroits où les élèves expriment des désaccords. Il faut attendre le tour de parole 166 où l'élève représentant les Amis de la Terre propose d'instaurer un moratoire sur les recherches, pour que des prises de positions contradictoires soient défendues par les élèves et que s'amorce à proprement parler une ou plus exactement des discussions critiques. Dans ce qui suit, nous allons examiner l'argumentation des élèves lors de ces échanges.

6.4.1 Une demande de moratoire qui suscite des prises de positions contradictoires

La première discussion s'articule autour de la question suivante : faut-il imposer un moratoire sur le développement des nanotechnologies ? Comme nous allons le voir, cette discussion ne va pas jusqu'au stade de la conclusion. Les élèves prennent seulement position de manière argumentée en se positionnant par rapport aux points de vue des autres, sans que le désaccord ne soit jamais résolu.

166	Miriam - AdlT	Nous la question qui nous intéresse le plus, c'est qu'il faut faire un moratoire en fait.
167	Gestionnaire de débat	Un moratoire ? C'est à dire euh ? Vous pouvez expliquer en deux mots ce que c'est euh ?
168	Miriam - AdlT	Stopper les recherches sur les nanotechnologies pour euh... Enfin, d'abord pour faire des recherches sur la toxicologie et avancer dans le sens de la santé.
169	Gestionnaire de débat	D'accord donc vous demandez en fait un arrêt des recherches, à la différence de madame (*montrant Alice représentant l'AFT*) qui dit il faut vraiment les développer pour
170	Miriam - AdlT	pour voir vraiment l'impact de... que ça a sur la santé et l'environnement.
171	Gestionnaire de débat	D'accord donc vous demandez un moratoire sur les nanotechnologies voilà. *(À Serena)* Donc madame, exprimez vous sur ce point là et puis (*à Arnaud qui lève la main*) après on reviendra à vous.
172	Serena - FSC	Je pense aussi que c'est bien qu'on stoppe un peu le développement, parce que ben personne n'est au courant, la société n'est pas au courant du tout, n'est pas informée. On met beaucoup d'argent alors qu'ils ne sont pas au courant, euh surtout qu'on les utilise tous les jours et tout. On modifie beaucoup de choses et ce qui serait po..., ce qui serait mieux qu'on les informe, qu'on... et personne... et il y a beaucoup de personnes qui ne sont pas du tout au courant de ce que c'est.

173	Gestionnaire de débat	D'accord. Mais là on est en train de mettre en débat les nanotechnologies. Alors je ne sais pas, il y a déjà eu un certain nombre de débats... Est-ce que vous avez des choses à dire sur ces débats
174	Serena - FSC	Oui, il y a déjà eu 17 débats, mais chaque débat a pour objectif de faire accepter les décisions et non, déjà prises, et non de les faire participer, les, la société.
175	Gestionnaire de débat	Donc vous estimez que ces débats ne sont pas des débats suffisants euh ?
176	Serena - FSC	Oui, il faudrait qu'on euh, demande les avis à la société.
177	Gestionnaire de débat	D'accord. Donc on nous a dit qu'il y avait déjà des développements des nanotechnologies et donc ces débats arrivent trop tards ? Qu'est-ce qui se passe ?
178	Serena - FSC	Oui, ça fait déjà 10 ans qu'on utilise ces nanotechnologies et alors que... et on fait des débats pile au moment où euh, c'est en plein milieu du développement et il faudrait justement arrêter, stopper pour faire voir... permettre ces débats, qui se posent et pour mieux financer l'argent que ça a.
179	Gestionnaire de débat	Hunhun. Vous voulez intervenir donc monsieur du CNRS et du CEA peut-être sur ces développements et ensuite on reviendra à la personne de la CNIL qui veut intervenir (*Transcriptrice pas sûre de la fin de cette phrase*). Allez-y.
180	Arnaud - CNRS-CEA	Oui je suis pas d'accord avec ce qu'elle dit, parce que le CNRS informe la population de... enfin avec, les personnes peuvent poser des questions. Ils informent. Ils ont même créé un DVD pour informer les personnes. Ils ont même fait un site en ligne que les personnes elles peuvent visiter. Et pour la question du moratoire, arrêter les expériences, ce serait.. Ce serait un peu bête parce qu'on a passé déjà 10-20 ans dessus et en France on a s... sept mille chercheurs dont six mille cinq cents qui travaillent avec nous donc ça serait un échec total. Donc on ne peut pas laisser tomber comme çà, en plus il y a des études qui sont faites sur la toxicologie et tout. C'est pas comme si c'était laissé de côté.
181	Gestionnaire de débat	Hunhun. Juste monsieur, sur l'emploi, on va peut-être prendre le monsieur du CFE-CGC qui est un syndicat et juste après on vous laisse la parole.
182	Laurent - CFE-CGC	Je voulais dire que aussi tous les... toutes les nanotechnologies, c'est la création d'un nouveau marché et d'une création de beaucoup de nouveaux emplois. Ça permet aussi aux pays d'avoir un indépendance technologique, donc de pas être retardé par rapport aux autres pays et donc euh, ça... d'ici à 2020, on peut atteindre un marché de plusieurs milliards d'euros, donc je pense qu'il faut continuer dans ce sens.
183	Gestionnaire de débat	Vous pensez que donc les enjeux financiers

184	Laurent - CFE-CGC	sont
185	Gestionnaire de débat	et les enjeux donc en terme d'emplois sont
186	Laurent - CFE-CGC	ouais
187	Gestionnaire de débat	sont très importants ?
188	Laurent - CFE-CGC	Sont très importants pour qu'on arrête. Enfin, faut pas arrêter alors qu'on a toutes ces possibilités euh à l'horizon.
189	Gestionnaire de débat	D'accord. Oui, alors on va peut-être prendre juste le monsieur de la CNIL. Il ne s'est pas exprimé, il doit avoir aussi des choses à dire. Donc qu'est-ce que vous avez à dire sur ces développements des nanotechnologies.

Confrontation : une dispute mixte Quatre élèves qui participent à cette discussion. Deux endossent le rôle de proposantes : Miriam qui représente les Amis de la Terre et Serena qui porte à l'oral les prises de position de la Fondation Sciences Citoyennes. Toutes deux soutiennent qu'il faut stopper au moins transitoirement les recherches sur les nanotechnologies.

166	Miriam - AdlT	Nous la question qui nous intéresse le plus, c'est qu'il faut faire un moratoire en fait.

172	Serena - FSC	Je pense aussi que c'est bien qu'on stoppe un peu le développement (...)

Deux élèves, Arnaud qui représente le CNRS et le CEA et Laurent qui joue le rôle de porte parole de la CFE-CGC mettent ensuite en doute ce point de vue et soutiennent le point de vue opposé.

180	Arnaud - CNRS-CEA	(...) Et pour la question du moratoire, arrêter les expériences, ce serait.. Ce serait un peu bête (...) on ne peut pas laisser tomber comme çà (...)

188	Laurent - CFE-CGC	(...) Enfin, faut pas arrêter alors qu'on a toutes ces possibilités euh à l'horizon.

La dispute est donc mixte.

Une ouverture de la discussion largement implicite L'ouverture de la discussion reste largement implicite. Et pour cause, les élèves étayent spontanément leurs points de vue mais ne se mettent pas au défi de défendre leurs prises de position. Ils semblent donc tous implicitement endosser le rôle de proposant.

Les prémisses acceptées de la discussion ne sont par ailleurs pas explicitées. On peut néanmoins estimer, au vu des échanges, que les élèves ne remettent pas en cause que le développement des nanotechnologies soulève des questions d'ordre sanitaire et environnemental. Ainsi quand Miriam qui représente les Amis de la Terre parle d'impact sur la santé et l'environnement, personne n'émet d'objection.

En revanche, une des affirmations proposée par Serena au travers de laquelle elle estime que les gens ne sont pas informés des développements des nanotechnologies est remise en cause par Arnaud qui représente le CNRS et le CEA. Une sous-dispute s'ouvre alors, mais elle non plus ne sera pas résolue.

Argumentation des différents participants Miriam est la première à argumenter son point de vue. Son argumentation, reconstituée sur le schéma ci-dessous (Figure 6.1), est une argumentation subordonnée comprenant deux étages.

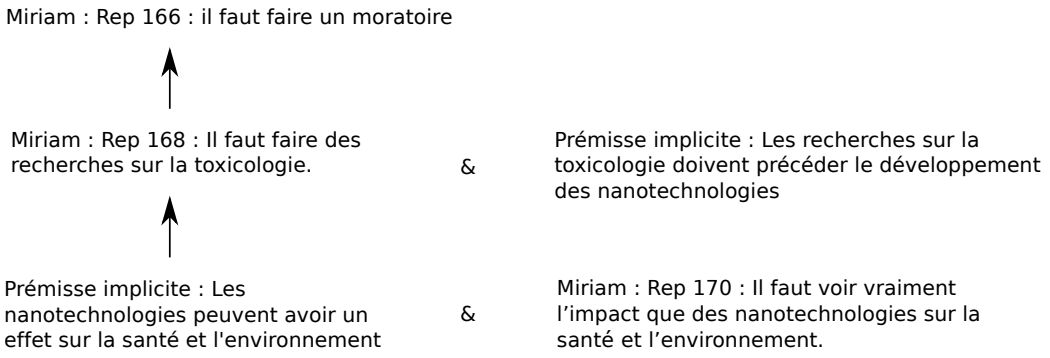


FIGURE 6.1 – Argumentation de Miriam pour défendre l'imposition d'un moratoire

Les deux étapes de son argumentation suivent un schéma argumentatif symptomatique. La première repose sur la prémisse selon laquelle il convient de connaître l'impact des nanotechnologies sur la santé et l'environnement et la seconde sur l'assertion stipulant que les recherches sur la toxicologie doivent précéder le développement des nanotechnologies.

Serena intervient ensuite. Elle propose une argumentation différente de celle de Miriam pour défendre le fait qu'il faudrait stopper transitoirement les recherches. Nous avons reconstruit son argumentation sur le schéma suivant. (Figure 6.2)

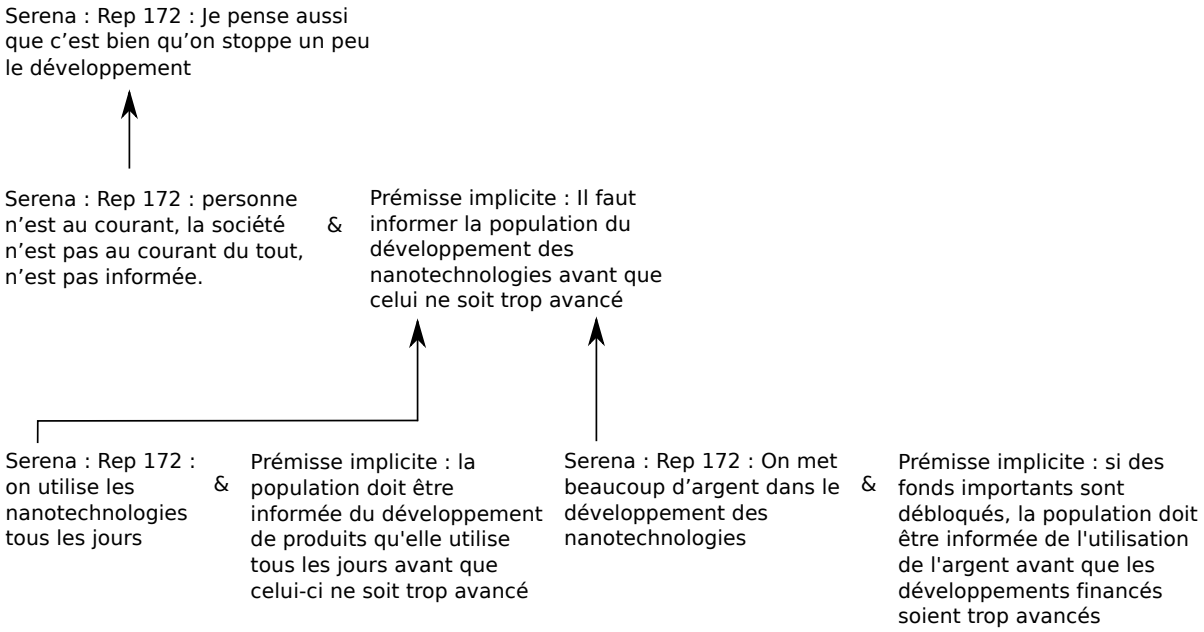


FIGURE 6.2 – Argumentation de Serena en faveur d'un arrêt ou d'un ralentissement du développement des nanotechnologies

Son argumentation s'articule en deux étapes. À la première, Serena utilise deux arguments indépendants pour défendre le point de vue selon lequel il est nécessaire d'informer la population du développement des nanotechnologies avant que celui-ci ne soit trop avancé [3].

3. Puisque l'élève affirme que les nanotechnologies sont utilisées tous les jours, cela implique que ce dé-

Ensuite, puisque la population n'est pas au courant et n'est pas informée, l'élève estime qu'il faut stopper "un peu" le développement des nanotechnologies.

Dans les trois cas, l'élève utilise un schéma argumentatif symptomatique.

À ces deux prises de positions en faveur d'un moratoire, l'élève acteur représentant le CNRS et le CEA répond. Au travers d'un acte de langage commissif *"je suis pas d'accord avec ce qu'elle dit"*, il commence par refuser l'argumentation de Serena qui repose sur la prémisse affirmant que la population n'est pas informée du développement des nanotechnologies. Il argumente ce rejet en utilisant une argumentation subordonnée présentée sur la figure 6.3.

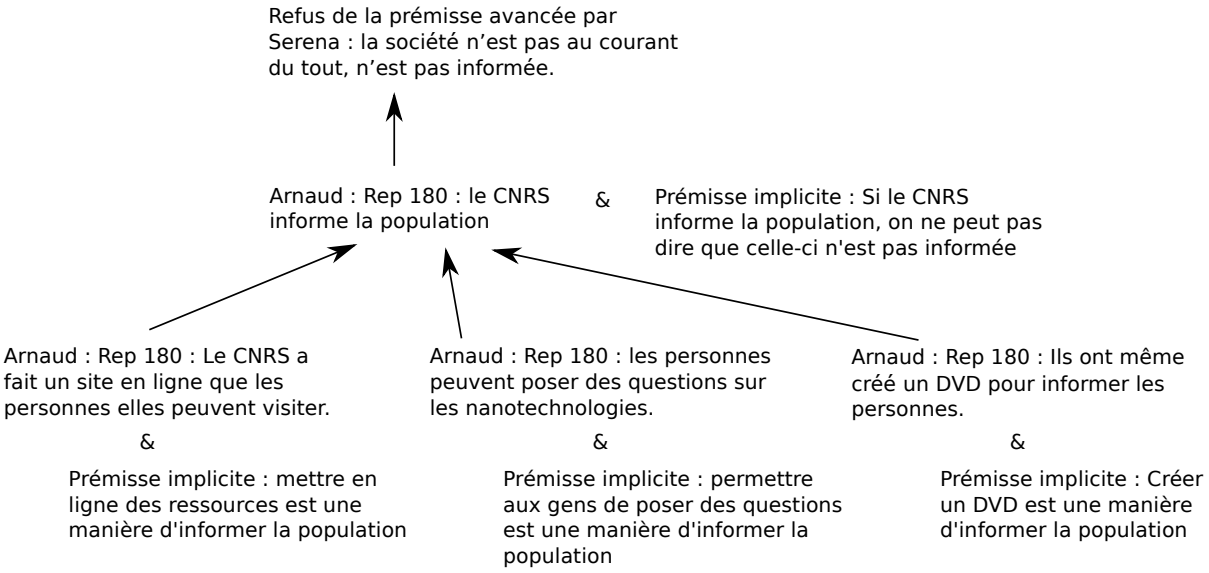


FIGURE 6.3 – Remise en cause étayée de l'argumentation de Serena par Arnaud

Tout d'abord, Arnaud met en avant que le CNRS informe la population. Il étaie cette affirmation en utilisant une argumentation multiple, dont chaque argument suit un schéma symptomatique.

Ensuite, partant du principe que le CNRS informe la population, il remet en cause le fait que la population n'est pas informée du développement des nanotechnologies. Le schéma argumentatif qu'il emploie alors est un schéma causal. D'après son argumentation, la conséquence du fait que le CNRS déploie des efforts pour informer la population est que la population est informée.

Ici il nous semble que le schéma argumentatif employé par Arnaud n'est pas logiquement valide. Le fait que le CNRS mette en place des opérations pour informer le public n'assure en effet aucunement que la population sera informée. Il nous semble ainsi qu'Arnaud confond dans son argumentation condition suffisante et condition nécessaire et enfreint la règle de la discussion critique selon laquelle "Une partie ne doit utiliser que des arguments logiquement valides, ou susceptibles d'être validés moyennant l'explicitation d'une ou plusieurs prémisses".

Serena ne répond pas à cette remise en cause de son argumentaire et cette sous-discussion s'arrête ici.

Arnaud n'en a pas fini pour autant. Il intervient également en réaction à l'argumentation de Miriam et semble refuser l'argumentation symptomatique qu'elle utilise pour passer de la prémisse :

veloppement est déjà au moins partiellement effectif. Nous avons donc reconstruit des prémisses implicites dans lesquelles l'élèves demande à ce que la population soit informée avant que le développement ne soit *trop* avancé.

Il faut faire des recherches sur la toxicologie.

à la conclusion

Il faut imposer un moratoire.

Il affirme en effet :

> *"Il y a des études qui sont faites sur la toxicologie et tout. C'est pas comme si c'était laissé de côté."*

Son argumentation est toutefois en décalage par rapport à la prémisse implicite sur laquelle repose l'argumentation de Miriam représentée sur la figure 6.1 :

> *Les recherches sur la toxicologie doivent précéder le développement des nanotechnologies.*

Ici, il semble attribuer abusivement à Miriam une prémisse implicite selon laquelle les recherches sur la toxicologie seraient laissées de côté. On peut par conséquent considérer :

- soit que son acte de discours n'est pas pertinent dans la discussion critique,
- soit qu'il viole la règle de la discussion critique selon laquelle "une partie ne doit pas attribuer abusivement une prémisse implicite à l'adversaire". En déplaçant de la sorte la discussion, il commet ainsi une variante du sophisme de l'épouvantail.

Enfin, Arnaud argumente aussi le point de vue opposé selon lequel *"on ne peut pas laisser tomber le développement des nanotechnologies comme çà"*. Son argumentation est reconstruite sur la figure 6.4. Nous avons élagué les assertifs *"ça serait un échec total"* et *"Ce serait un peu bête"* qui nous semblent assimilables à des expressifs exprimant une sorte de regrets anticipés.

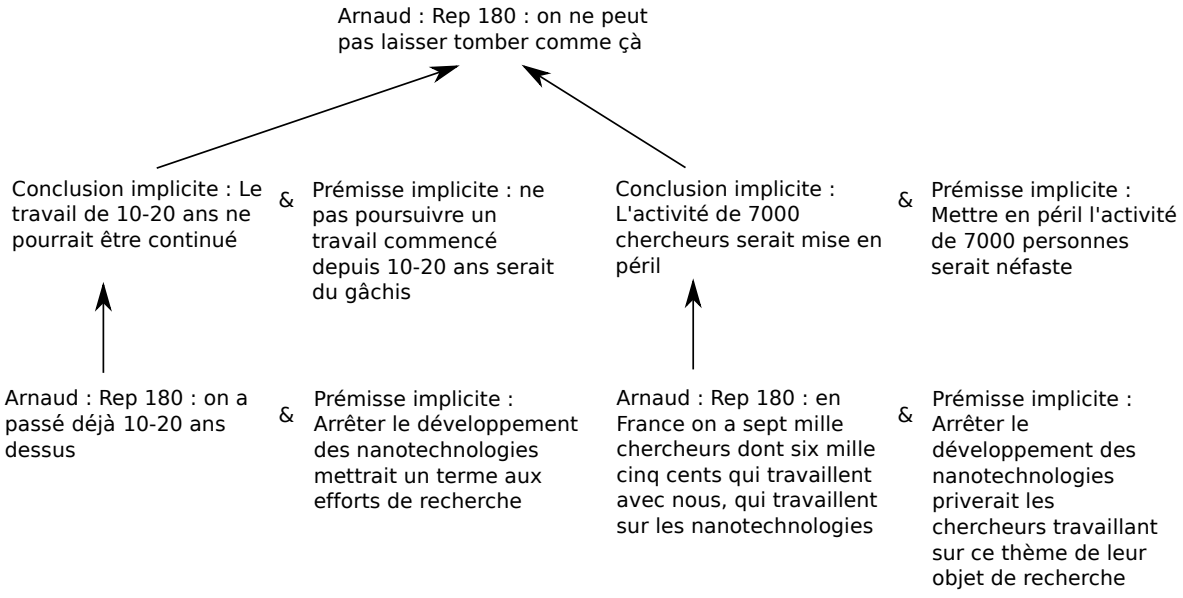


FIGURE 6.4 – Argumentation d'Arnaud

L'argumentation d'Arnaud est ici multiple et chaque "branche" de son argumentation repose sur une première argumentation causale (par exemple : arrêter le développement des nanotechnologies aurait pour conséquence de priver les chercheurs de leur objet de recherche), puis sur une argumentation symptomatique (par exemple : mettre en péril l'activité de 7000 personnes serait néfaste).

Enfin, Laurent intervient aussi dans cette discussion sur l'imposition d'un moratoire. Il utilise une argumentation multiple où les trois arguments indépendants qui suivent tous trois

un schéma causal (voir figure 6.5) . Il met en effet en avant les conséquences, implicitement supposées désirables, du développement des nanotechnologies.

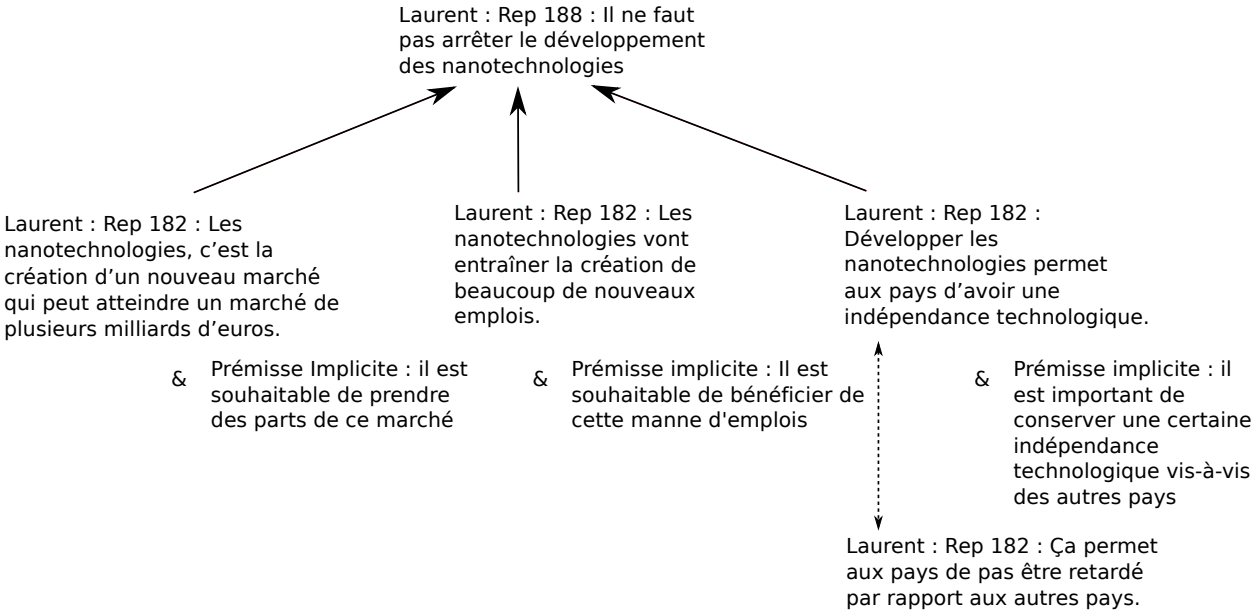


FIGURE 6.5 – Argumentation de Laurent

Cette discussion s'arrête ici. La dispute reste donc irrésolue.

Cette discussion est la seule discussion mixte du jeu de rôle. À d'autres endroits cependant, les élèves argumentent et notamment pour répondre aux sollicitations de la gestionnaire de débat. Nous allons détailler deux de ces passages. Le premier est une digression qui a eu lieu alors que les échanges traitaient de l'imposition d'un moratoire.

6.4.2 Sous-discussion sur la mise en débat des nanotechnologies

Confrontation Au moment où Serena argumente sa prise de position en faveur de l'imposition d'un moratoire en mettant en avant que la population n'est pas informée ni au courant du développement des nanotechnologies, la gestionnaire de débat objecte que des débats sont mis en place.

173	Gestionnaire de débat	Mais là on est en train de mettre en débat les nanotechnologies. (...)

On peut ainsi considérer qu'elle met en doute le fait que la population n'est pas informée ou au courant du développement des nanotechnologies en insinuant que puisqu'il y a des débats ouverts à la population, cela présuppose qu'elle soit informée.

L'élève ne fait cependant pas préciser la question de la gestionnaire de débat.

D'une certaine manière, ce flou rend ici responsable les deux parties d'une double violation la règle de la discussion 10 : "Les parties ne doivent pas utiliser des formulations insuffisamment claires ou d'une obscurité susceptible d'engendrer la confusion ; chacune d'elle doit interpréter les expressions de l'autre partie de la façon la plus soigneuse et la plus pertinente possible".

Ouverture La gestionnaire de débat met ensuite Serena au défi de défendre son point de vue.

173	Gestionnaire de débat	Est-ce que vous avez des choses à dire sur ces débats ?

Le fait qu'il y a déjà eu mis en place un certain nombre de débats semble un point de départ accepté. Serena commence d'ailleurs sa réponse en indiquant :

"Oui, il y a déjà eu 17 débats"

puis elle commence à argumenter.

Argumentation Au tour de parole 174 elle déclare ainsi :

"Chaque débat a pour objectif de faire accepter les décisions et non, déjà prises, et non de les faire participer, les, la société."

Nous avons reconstitué les prémisses implicites permettant de rendre son argumentation logiquement valide sur le schéma de la figure 6.6.

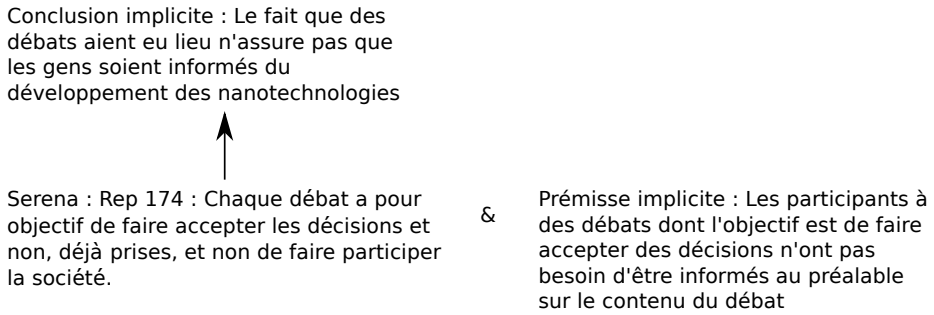


FIGURE 6.6 – Argumentation de Serena en réponse à l'objection de la gestionnaire de débat

La gestionnaire de débat l'interroge alors comme pour la faire expliciter la partie implicite de son raisonnement :

"Donc vous estimez que ces débats ne sont pas des débats suffisants ?"

Cet acte de langage directif n'est cependant pas formulé de manière à faciliter l'établissement d'un lien avec les problèmes d'information de la population qui constituaient le point de départ de l'échange. Du point de vue de la discussion critique telle qu'elle est conçue au travers de la théorie pragma-dialectique, il nous semble donc qu'ici notre intervention a pu rajouter de la confusion au débat, mettant en péril la résolution de la discussion initiale sur l'information de la population et sur l'imposition du moratoire. D'ailleurs juste après cette relance, les échanges se sont poursuivis pendant encore quatre répliques sur le thème de la mise en débat des nanotechnologies.

6.4.3 Argumentations sur l'imposition de limites aux recherches sur les nanotechnologies

Immédiatement après la discussion sur l'imposition d'un moratoire, l'élève représentant la CNIL intervient. Lui aussi discute de poursuivre ou non le développement des nanotechnologies. Cependant, il ne pose pas la discussion en termes de moratoire ou de poursuite des recherches. Il discute de la nécessité de contrôler ces développements.

190	Stéphane - CNIL	Ben pour rebondir sur ce qui a été dit, c'est sûr que c'est assez violent d'arrêter toutes les recherches et c'est pas très logique, mais il y a un autre problème qui se pose, c'est par rapport à... au, à la sécurité et aux libertés des personnes. Euh les puces qui sont microscopiques et qui sont pratiquement indétectables, elles peuvent entraîner une violation des libertés des personnes par surveillance trop poussée et abusive et ça pourrait entraîner à trop forte dose un clonage mental des personnes, c'est à dire que comme

190	Stéphane - CNIL	chacun aurait peur d'être trop surveillé, il deviendrait un citoyen modèle pour passer devant les surveillances qu'entraînent les puces électroniques euh
191	Gestionnaire de débat	Donc vous dites que ça va permettre de faire des puces électroniques comment ? plus...
192	Stéphane - CNIL	Bah l'idée c'est... qui a été développée déjà en boîte de nuit, c'est de mettre des puces électroniques dans les êtres humains et pour connaître leurs informations. Donc par exemple ça pourrait servir aux supermarchés d'indiquer un rayon tout précis déjà à une précis à une personne. Bah ça pourrait aider dans certains cas comme çà, mais le problème c'est que les personnes pourraient être tracées, suivies au quotidien et ça pourrait être très dangereux pour la sécurité de tout le monde.
193	Gestionnaire de débat	Donc vous vous êtes la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés, qu'est-ce que vous préconisez du coup ? ou qu'est-ce que vous pensez qu'il faut faire donc euh par rapport à çà ?
194	Stéphane - CNIL	Bah avant tout, euh, mettre des règles en place et limiter le plus possible les risques pour les citoyens... euh placer des limites euh dans cette recherche et surtout dans l'utilisation de ces nanotechnologies.
195	Gestionnaire de débat	Quand vous dites "placer des limites dans ces recherches" qu'est-ce que vous entendez par limites ?
196	Stéphane - CNIL	Bah, bah que ça devienne pas... que les recherches elles servent pour la santé, c'est bien, mais si ça sert pour un gouvernement pour suivre... pour suivre les gens ou savoir leurs opinions politiques euh, c'est du détournement de science.

Confrontation Ici l'exposé du point de vue de Stéphane n'arrive pas immédiatement. La manière dont il entame son intervention laisse entendre qu'il embraye sur la discussion précédente et qu'il a plutôt tendance à partager les points de vue de Miriam et Serena. Il introduit ainsi son propos en déclarant :

> *"Ben pour rebondir sur ce qui a été dit, c'est sûr que c'est assez violent d'arrêter toutes les recherches et c'est pas très logique, mais il y a un autre problème qui se pose"*

Le point de vue qu'il défend n'est cependant en fait explicité qu'à la réplique 194. Il peut être formulé ainsi : il faut mettre des règles et des limites aux recherches et aux utilisations des nanotechnologies.

Ce point de vue n'est par ailleurs pas remis en cause explicitement et l'étape d'ouverture de la discussion reste ici implicite.

Argumentation Stéphane argumente ensuite son point de vue en plusieurs temps. Il nous semble qu'au moins trois argumentaires peuvent être identifiés dans son discours. Les deux premières sont contenues dans le tour de parole suivant :

> *"il y a un autre problème qui se pose, c'est par rapport à... au, à la sécurité et aux libertés des personnes. Euh les puces qui sont microscopiques et qui sont pratiquement indétectables, elles peuvent entraîner une violation des libertés des personnes par surveillance trop poussée et abusive et ça pourrait entraîner à trop*

forte dose un clonage mental des personnes, c'est à dire que comme chacun aurait peur d'être trop surveillé, il deviendrait un citoyen modèle pour passer devant les surveillances qu'entraînent les puces électroniques euh"

La présentation analytique de la première argumentation est représentée à la figure 6.7 où nous avons explicité les étapes permettant de connecter l'enchaînement d'arguments au point de vue.

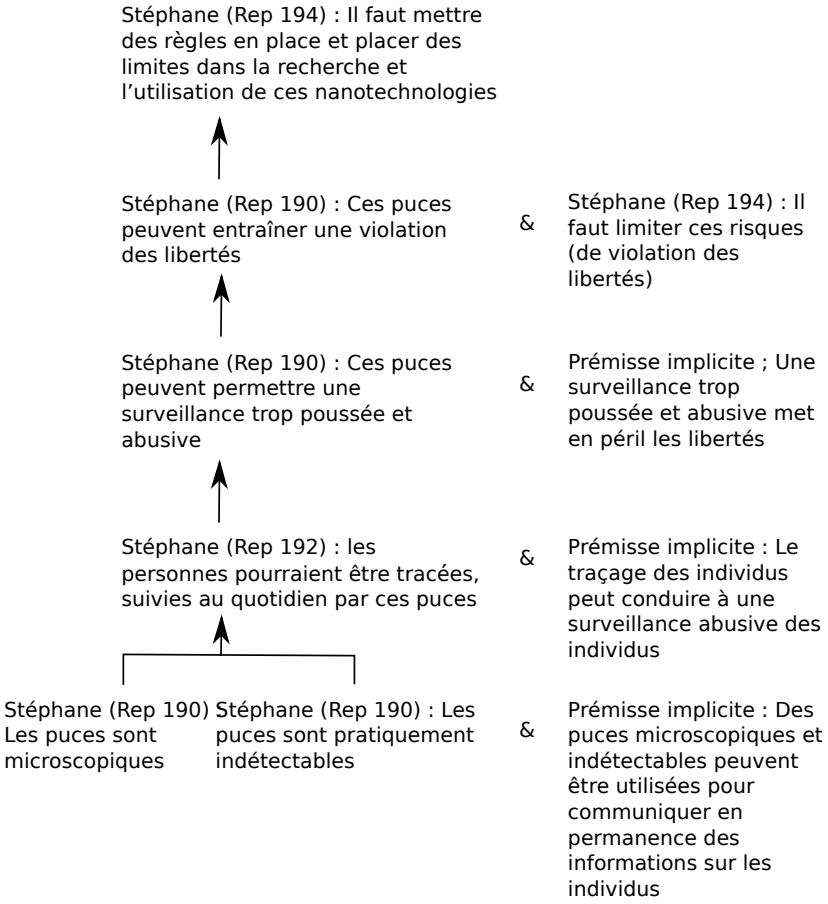


FIGURE 6.7 – Première partie de l'argumentation multiple de Stéphane sur la nécessité de l'imposition de limites

La première étape de son argumentation suit un schéma causal. L'existence de puces à la fois microscopiques et indétectables a pour conséquence de rendre possible le traçage des individus au quotidien. Du point de vue de l'évaluation de cette première étape de l'argumentation, il nous semble indispensable, pour que l'argumentation soit cohérente, d'adjoindre une prémisse implicite tenant compte de la capacité des puces à communiquer des informations que n'explicite pas l'élève mais que met en avant la CNIL comme nous l'avons mis en avant au paragraphe précédent.

La deuxième étape de son argumentation est aussi une argumentation causale : le fait que les personnes puissent être tracées au quotidien est susceptible de rendre possible une surveillance abusive des individus.

Les deux dernières étapes suivent enfin un schéma symptomatique : cette surveillance abusive correspond une mise en péril des libertés et il convient de limiter ces risques de violation des libertés.

Il nous semble ainsi que cette première argumentation est logiquement valide.

Dans la foulée de ce premier argumentaire, Stéphane propose une deuxième argumentation reposant sur deux schémas argumentatifs causaux analogues à ceux de l'argumentation que nous venons de présenter. La structure et le contenu de cette argumentation subordonnée est représentée sur la figure 6.8 où nous avons explicité les prémisses implicites [4].

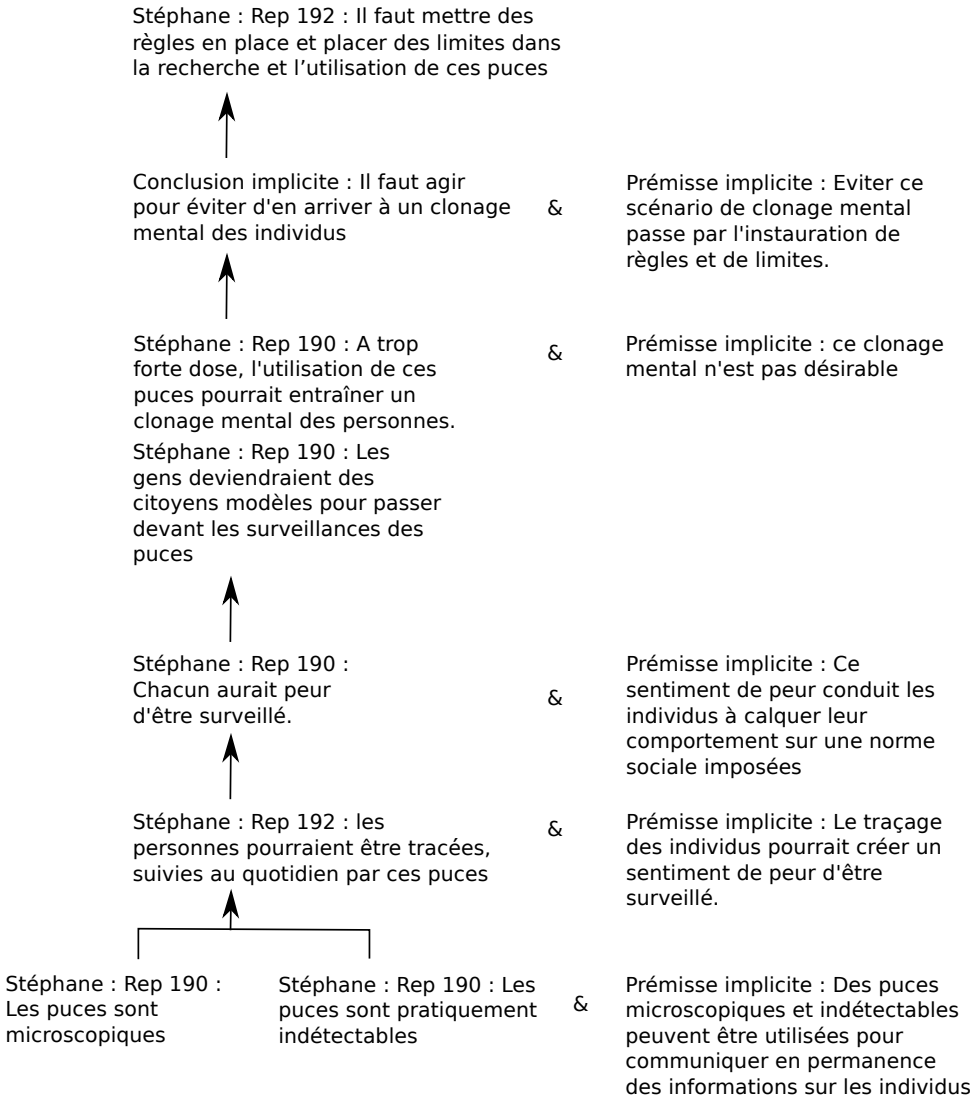


FIGURE 6.8 – Deuxième partie de l'argumentation multiple de Stéphane sur la nécessité de l'imposition de limites

Dans cette argumentation, Stéphane met en avant le fait que le traçage des individus pourrait générer un sentiment de peur chez les personnes se sachant surveillées.

Il utilise ensuite un schéma causal selon lequel ce sentiment de peur entraîne une uniformisation des comportements des citoyens pour répondre aux attentes de la personne, l'organisation ou la société qui le scrute [5].

4. Pour déterminer les optimum pragmatiques, nous nous sommes appuyés sur le contenu du cahier d'acteurs de la CNIL.

5. Ici, on peu souligner que le schéma argumentatif pourrait être aussi considéré comme symptomatique. En effet, la prémisse implicite sous-tendue par l'argumentation de l'élève pourrait aussi être : il est caractéristique des personnes se sachant observées d'essayer d'adapter leur comportement aux attentes de l'acteur qui les observent. L'accent est alors placé sur les individus et non plus plus le sentiment de peur comme nous l'avons fait dans notre reconstruction.

Il emploie alors deux schémas argumentatifs symptomatiques lui permettant de déduire que cette uniformisation des comportements n'est pas souhaitable et que la manière dont il est possible de lutter contre passe par l'imposition de règles et de limites dans la recherche et l'utilisation de ces puces.

Là encore, cette argumentation nous semble logiquement valide.

Enfin Stéphane utilise une troisième argumentation un peu différente des deux autres pour défendre son point de vue :

> *"le problème c'est que les personnes pourraient être tracées, suivies au quotidien et ça pourrait être très dangereux pour la sécurité de tout le monde."*

Les prémisses implicites de cette argumentation sont reconstruites sur la figure 6.9.

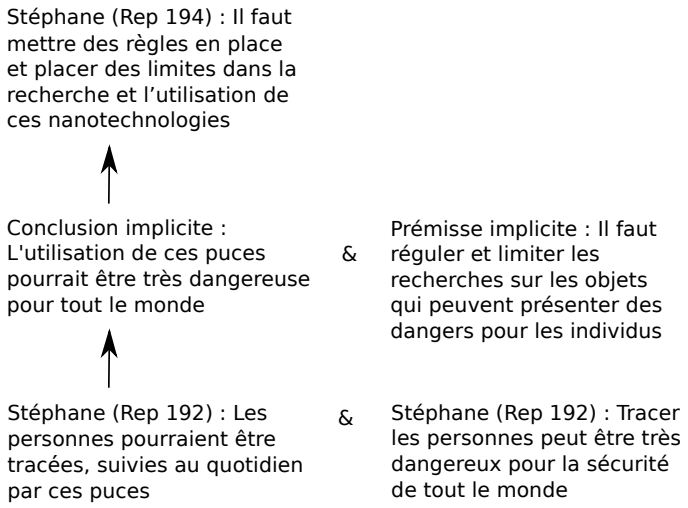


FIGURE 6.9 – Troisième partie de l'argumentation multiple de Stéphane sur la nécessité de l'imposition de limites

Le premier schéma argumentatif nous semble être causal : tracer des individus peut les mettre en danger [6]. Cette première étape de son argumentation est suivie par une argumentation symptomatique : il convient de réguler des recherches qui portent sur des objets pouvant mettre en danger les individus.

6.5 Quelle mise à distance des discours portés par les organisations auteurs d'un cahier d'acteurs ?

Pour conclure cette analyse du jeu de rôle, nous voudrions à présent revenir sur la mise à distance par les élèves des différents discours auxquels ils ont été confrontés lors de la préparation du jeu de rôle.

L'analyse de l'argumentation déployée par les élèves met en lumière au moins deux choses et d'abord que les disputes contradictoires ont été rares dans cette mise en œuvre du jeu de rôle. Cet état de fait est sans doute imputable à la manière dont est conçue cette discussion. Il s'agit pour les élèves d'exprimer les points de vue et arguments tels qu'ils figurent dans leurs cahiers d'acteurs, or l'exposé proposé dans ces documents n'est pas construit comme une

6. De nouveau, on pourrait discuter de cataloguer ce schéma argumentatif comme symptomatique. Dans ce cas l'argumentation de Stéphane reposerait sur la prémisse implicite que le traçage des individus a pour caractéristique d'être dangereux. Cette formulation nous semble discutable. Il nous semble en effet que le traçage est dangereux parce qu'il peut permettre des actions mettant en danger les indivdus et que la dangerosité n'est pas intrinsèque au traçage.

réponse aux prises de position d'autres acteurs. Les élèves ont donc donné à voir plusieurs facettes des débats sans que cela ne suscite la plupart du temps d'opposition explicites. Ainsi hormis lors de la discussion sur l'imposition d'un moratoire qui a permis de rendre saillants des points de vue antagonistes, la discussion a plutôt été l'occasion de dresser un panorama des multiples facettes des questionnements soulevés par les développements des nanotechnologies sans réduire le débat à des oppositions binaires.

Le deuxième point que nous voudrions souligner est la rareté des argumentations fallacieuses dans les prises de parole des élèves.

Nous en avons repéré deux dans la discussion suscitée à propos de la demande de moratoire. L'élève représentant le CNRS et le CEA semble ainsi avoir imputé à l'élève représentant les Amis de la Terre une prémisse selon laquelle les recherches sur la toxicologie seraient laissées de côté, qu'elle n'avait pas soutenue. D'un point de vue mise à distance, cette distorsion du discours nous semble être une entrave à la prise de recul à la fois par rapport à l'argumentaire des Amis de la Terre mais aussi au questionnement des arguments que lui défend. Cet élève a aussi utilisé une argumentation dont la validité logique est discutable pour attaquer le point de vue de l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes sur l'absence d'information de la population. Enfin, le flou des prises de parole de l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes mais aussi de la gestionnaire du débat lors de la discussion sur les cycles de débats de la CNDP peut aussi être vu comme une violation des règles de la discussion critique.

Toutefois, vu la rareté de ces mouvements fallacieux, il nous semble légitime d'affirmer que ce jeu de rôle n'a pas été le théâtre d'une joute verbale où les élèves auraient par exemple cherché à faire obstacle à l'expression des autres, auraient tenté d'esquiver la charge de la preuve ou auraient défendu leur point de vue en recourant à des moyens de persuasion non argumentatifs. Les élèves sont souvent intervenus de manière pertinente en mobilisant le contenu de leur cahier d'acteurs. Et cette confrontation des points de vue, si elle n'assure en rien d'une mise à distance effective des discours a toutefois permis l'examen d'une pluralité de perspectives sur les controverses soulevées par les nanotechnologies.

Chapitre 7

Analyse de la discussion post jeu de rôle et de sa préparation

7.1 Analyse des documents remplis pour préparer la discussion finale

Avant de revenir sur le contenu de la discussion qui a suivi le jeu de rôle, nous allons examiner le contenu des fiches que les élèves ont remplies juste après le jeu de rôle, lorsqu'ils ont reformé leurs groupes de trois.

Ils ont alors dû résumer en une phrase le ou les point(s) clé(s) mis en avant par l'organisation auteur de leur cahiers d'acteurs et répondre à deux questions :

- Quels sont les thèmes qui ont été abordés au cours de la discussion ?
- Que pensez-vous du contenu du cahier d'acteurs que vous avez étudié ?

Dans ce qui suit nous allons d'abord répertorier les thèmes mentionnés par les différents groupes d'élèves et dans un second temps, nous donnerons un aperçu de leurs réponses à la seconde question leur demandant leur opinion sur le contenu du cahier d'acteurs. Nous discuterons alors de la prise de distance des élèves par rapport au discours des acteurs dont ils ont étudié l'argumentaire.

7.1.1 Les thèmes repérés par les élèves dans la discussion du jeu de rôle

Nous avons rassemblé dans le tableau ci-dessous les thèmes identifiés par les différents groupes d'élèves. Ils y figurent tous hormis deux items que nous avons eu des difficultés à classer. Les deux autres formulations que nous n'avons pas fait figurer dans ce tableau ont été proposées par les groupes travaillant à partir du cahier d'acteurs de la CNIL et de celui de la CFE-CGC. Ils ont écrit respectivement :

> *"Nanotechnologie +/- le pour ou le contre" (CNIL)*
> *"avantage/inconvénient" (CFE-CGC)*

Ces intitulés nous laissent penser que les élèves de ces groupes analysent les échanges selon un codage binaire. De plus, ces propositions ne nous semblent pas désigner un thème particulier mais quelque chose de plus global, correspondant peut-être à la façon dont les élèves de ces groupes ont perçu ou qualifieraient le panorama proposé au travers du jeu de rôle. Par conséquent, nous n'avons pas inclus ces deux formulations dans le tableau.

Enfin un troisième intitulé nous a posé problème. Il s'agit du thème "société" relevé par les élèves ayant étudié le cahier de la Fondation Sciences Citoyennes. Ce terme pouvant renvoyer à une multiplicité de thèmes abordés dans le jeu de rôle (libertés individuelles, information des citoyens, nanoproduits dont les effets modifieraient notre vie au quotidien...), nous ne l'avons rattaché à aucun des autres thèmes proposés par les autres acteurs.

Thème	Organisation dont le groupe d'élèves a étudié le cahier d'acteurs	Formulation proposée par les élèves
L'environnement	Amis de la Terre	*- L'environnement*
	Association Française Transhumaniste	*Conséquences sur la santé et l'environnement*
	CFE-CGC	*Risques et limites liés aux nanotechnologies sur l'environnement, les individus*
	CNRS-CEA	*Santée/environnement*
	FEBEA	*- Les effets sur l'environnement*
	FSC	*environnement*
	INRS	*- Environnement*
Santé	Amis de la Terre	*La santé*
	Association Française Transhumaniste	*Conséquences sur la santé et l'environnement*
	CFE-CGC	*Risques et limites liés aux nanotechnologies sur l'environnement, les individus*
	CNIL	*Toxicologie*
	CNRS-CEA	*Santée/environnement*
	FEBEA	*- La recherche des nanos et ses effets néfastes sur le corps*
		- Les dangers des travailleurs, qui travaillent sur les nanos, et sur l'HOMME
	FSC	*santé*
	INRS	*Santé : Risques et avantages*
Modification de l'humain	Amis de la Terre	*- Peur de l'artificialisation, propriété intellectuel*
	CNIL	*Santé et évolution*
Libertés	CNIL	*Liberté de l'individue*
	CNRS-CEA	*Liberté individuelle*
	INRS	*Liberté individuelle*
Sécurité	Académie de médecine	*securité / dangers*
	Association Française Transhumaniste	*- Sécurité de l'individu, information de la société*
Information et avis des citoyens	Association Française Transhumaniste	*- Sécurité de l'individu, information de la société*
	INRS	*Avis des citoyens*
Perspectives ouvertes par les développements des nanotechnologies	Académie de médecine	*- emploi,* *- recherche* *- developpement*
	Association Française Transhumaniste	*Progrès par les nanotechnologies (médecine)*
	CFE-CGC	*Développement → Création d'emplois*

	FEBEA	*- Le financement des recherches et ce que cela peut apporter dans le futur*
	FSC	*médecine, cosmétiques, devellopement*
	INRS	*Santé : Risques et avantages*
Moratoire	Amis de la Terre	*- le moratoire*
	FSC	*moratoire*
	INRS	*Continuer ou non les nanotechnologies ?*
Financement des recherches	Amis de la Terre	*- le budjet*
	FEBEA	*- Le financement des recherches et ce que cela peut apporter dans le futur*
	FSC	*financement*
Propriété intellectuelle	Amis de la Terre	*- Peur de l'artificialisation, propriété intellectuel*
Société	FSC	*société*

Le tableau ci-dessus objective le fait que les élèves ont bien identifié les préoccupations sanitaires et environnementales évoquées dans le jeu de rôle.

8 groupes sur les 9 font apparaître explicitement le thème des problèmes pour la santé des individus et 7, le thème de "l'environnement". Par ailleurs, les élèves ayant étudié le cahier de l'académie de médecine, seul groupe n'ayant pas mentionné explicitement les problèmes de santé dans leur inventaire, ont relevé le thème "sécurité / dangers" qui, peut-être englobe aussi ces questions.

En outre, les intitulés proposés sur les thèmes sanitaires et environnementaux restent souvent assez généraux. Les élèves parlent de "risques", de "conséquences" ou parfois simplement "d'environnement", mais laissent assez rarement transparaître les questions de régulation posées dans le sillage des questions de toxicologie ou d'écotoxicologie. Seuls les groupes ayant étudiés le cahier d'acteurs de la CNIL et de la FEBEA font référence aux recherches en toxicologie et seul le groupe ayant travaillé sur le cahier de la FEBEA fait allusion aux cas spécifiques des travailleurs exposés aux nano-objets.

Les questions des modifications de l'humain apparaissent quant à elles dans les intitulés proposés par deux groupes : celui de la CNIL qui parle "d'évolution" et celui des Amis de la Terre. Les élèves ayant analysé le cahier de cette association reprennent l'expression d'artificialisation qu'elles avaient déjà notée dans leurs fiches de préparation et que l'élève-actrice avait prononcée vers la fin du jeu de rôle. De nouveau, elles font figurer au côté de ce thème celui de la propriété intellectuelle, semblant les faire aller de pair puisqu'elles les ont regroupés derrière un seul tiret.

Parallèlement, trois groupes mettent en avant explicitement les perspectives ouvertes par les nanotechnologies en médecine : l'INRS, la Fondation Sciences Citoyennes et l'Association Française Transhumaniste.

Le thème des libertés a, lui, été repéré par des groupes d'élèves autres que la CNIL : ceux ayant étudié le cahier du CNRS et du CEA et ceux ayant travaillé sur le cahier de l'INRS.

D'autre part, deux groupes d'élèves, ceux ayant étudié le cahier d'acteurs de l'Académie de Médecine et de l'Association Française Transhumaniste ont relevé le thème de la "sécurité". S'il est difficile de savoir ce que ces élèves placent exactement sous ce terme (il pourrait s'agir

de problèmes sanitaires, mais aussi de problème de sécurité des données), on peut mettre en regard ce choix de terminologie avec les mots employés par l'élève représentant la CNIL au cours du jeu de rôle. Celui-ci parlait en effet d'un problème "par rapport à la sécurité et aux libertés des personnes"[1]. On ne peux pas exclure que l'emploi de ce terme "sécurité" renvoie à ce passage du jeu de rôle.

L'examen de ce tableau met aussi en lumière que les questionnement relatifs aux choix et à la gestion des développements des nanotechnologies en démocratie ont rarement été repérés. Ainsi un seul groupe d'élèves a noté le thème de l'information de la population et seul le groupe ayant étudié le cahier de l'INRS a intitulé un des thèmes du jeu de rôle "avis des citoyens".

Enfin trois groupes ont proposé des intitulés se rapportant aux questions de "moratoire" et trois groupes ont identifié les interrogations sur le financement des recherches. Dans chacun de ces deux cas, deux des groupes ayant proposé ces thèmes sont ceux ayant étudié les cahiers des Amis de la Terre et de la Fondation Sciences Citoyennes. Ce sont donc essentiellement les groupes qui ont introduit ces préoccupations dans le jeu de rôle qui les mentionnent ici, même si d'autres groupes les ont relevées (pour le moratoire le groupe ayant étudié le cahier de l'INRS a noté "Continuer ou non les nanotechnologies ?" et pour les investissements dans les nanotechnologies, le groupe ayant décortiqué le cahier de la FEBEA a relevé "Le financement des recherches et ce que cela peut apporter dans le futur").

Finalement cet examen des thèmes relevés par les élèves montre que les questions sanitaires et environnementales ont été très bien repérées dans la discussion mais que les aspects de régulation qui leur sont attachées sont rarement mis en avant dans les formulations des élèves.

Par ailleurs, les questionnements liés aux utilisations des nanotechnologies en médecine pour améliorer les capacités de l'humain semblent avoir assez peu interpellé les différents groupes. C'est aussi le cas pour tout ce qui concerne les interrogations relatives à l'information des citoyens et à la mise en débat des choix scientifiques et technologiques.

Ce passage en revue permet également d'apprécier que si les élèves ont sans doute plus de facilités à repérer les thèmes abordés dans leur cahier d'acteurs, ils ont aussi pour certains (CNIL, FEBEA, INRS ou encore l'Association Française Transhumaniste) été sensibles à d'autres thématiques absentes du document qu'ils avaient étudié en préparation du jeu de rôle. Ceci nous semble indiquer que le jeu de rôle a permis à plusieurs élèves de s'approprier différentes dimensions de la controverse et des discours d'autres élèves.

Enfin les choix d'intitulés opérant un balancement entre "avantages et inconvénients" des nanotechnologies par les groupes ayant travaillé sur le cahier de la CNIL et celui de la CFE-CGC, pourraient indiquer que certains élèves ont tendance à coder la discussion qui a eu lieu au cours du jeu de rôle de manière binaire.

7.1.2 L'avis des élèves sur le contenu du cahier d'acteurs étudié

Nous allons à présent examiner les quelques phrases que les élèves des différents groupes ont proposé en réponse à la question : "Que pensez-vous du contenu du cahier d'acteurs que vous avez étudié ?".

Au travers de leurs réponses, plusieurs groupes affichent leur intérêt pour le contenu du cahier d'acteurs qu'ils ont eu entre les mains, le qualifiant d'intéressant ou d'instructif. Certains manifestent leur accord avec les prises de positions et les argumentaires proposés dans les quatre pages qu'ils ont épluchées. Enfin certains groupes émettent aussi certaines réserves, critiques ou nuances par rapport à leur contenu.

1. L'élève emploie cette expression à la réplique 168 du jeu de rôle.

7.1.2.1 Des cahiers d'acteurs jugés "intéressants" par les élèves

Les groupes exprimant leur intérêt pour le contenu du cahier d'acteurs qui leur a été distribué sont au nombre de de 5. Il s'agit des élèves ayant étudié les cahiers de l'ANM, de la CFE-CFC, de la CNIL, du CNRS-CEA et de la Fondation Sciences Citoyennes.
Certains ne précisent pas les raisons de leur intérêt. Ainsi les élèves ayant travaillé sur le cahier de la CFE-CGC écrivent :

> *"Bien mais trop économique et pas assez humaniste" (élèves CFE-CGC)*

De même ceux ayant étudié la contribution au débat public de la CNIL ont noté :

> *"Il est intéressant, mais pas assez complet, cela demanderait d'être approfondit" (élèves CNIL)*

Les élèves ayant analysé le cahier de l'Académie de Médecine quant à eux ont écrit :

> *"Le cahier d'acteurs est complet, instructif. il faut faire gaffe au limites (vie privée, tracabilité), pas beaucoup de prise de risque, contrôle dans la médecine. C'est un grand intéret pour la medecine qu'il faut davantge developper" (élèves ANM)*

D'autres en revanche, explicitent pourquoi ils jugent ces documents dignes d'intérêt. Les élèves qui ont analysé le cahier d'acteurs du CNRS et du CEA écrivent ainsi :

> *"Il est intéressant, car il expose les domaines d'application des nanotechnologies et les conditions de recherche" (élèves CNRS-CEA)*

et ceux qui ont étudié le document signé par la Fondation Sciences Citoyennes :

> *"Intéressant, beaucoup d'informations sur les nanos, decouverte des nanos.*
> *En accord avec la fondation des sciences citoyennes, plus particulièrement avec le fait qu'il faut informer les citoyens sur les risques des nanos, car nous même n'étions pas au courant que les nanotechnlogie était présente partout dans notre vie quotidienne." (élèves FSC)*

Ces deux groupes d'élèves justifient donc leur intérêt en soulignant notamment l'apport d'informations sur les nanotechnologies proposé dans leurs cahiers d'acteurs.

7.1.2.2 Des groupes affichant leur accord avec le contenu du cahier d'acteurs

D'autres élèves soulignent dans leurs réponses qu'ils partagent les points de vue exposés dans leur cahier d'acteurs. C'est le cas des groupes ayant étudié les cahiers de l'Académie de Médecine, des Amis de la Terre, de l'Association Française Transhumaniste, de la Fondation Sciences Citoyennes et de l'INRS.

Parmi eux, certains expriment seulement leur accord global avec les thèses du document qu'ils ont examiné, sans fournir plus de détails sur les prises de positions auxquelles ils adhèrent. Ainsi, les groupes à qui ont été distribués les cahiers de l'INRS et de l'Association Française Transhumaniste déclarent respectivement :

> *"Nous sommes d'accord avec ce cahier d'acteurs. Néanmoins chaque acteur a présenté des arguments entendables" (élèves INRS)*
> *"D'accord avec ce cahier d'acteurs tout en étudiant un peu plus la sécurité et la liberté" (élèves AFT)*

Les autres groupes apportent eux quelques détails sur les points avec lesquelles ils sont en accord. Les élèves ayant travaillé sur la contribution de la Fondation Sciences Citoyennes insistent ainsi sur l'importance d'informer les citoyens sur les risques des nanotechnologies et argumentent en soulignant qu'elles-mêmes n'avaient pas conscience de la présence des nanotechnologies dans leur quotidien.

"Intéressant, beaucoup d'informations sur les nanos, decouverte des nanos.

En accord avec la fondation des sciences citoyennes, plus particulièrement avec le fait qu'il faut informer les citoyens sur les risques des nanos, car nous même n'étions pas au courant que les nanotechnologie était présente partout dans notre vie quotidienne." (élèves FSC)

Le groupe d'élèves ayant étudié le cahier d'acteurs de l'Académie de médecine, reprend certains thèmes développés dans ce document. Ils mentionnent en particulier l'intérêt de développer les nanotechnologies pour la médecine.

"Le cahier d'acteurs est complet, instructif. il faut faire gaffe au limites (vie privée, tracabilité), pas beaucoup de prise de risque, contrôle dans la médecine. C'est un grand intéret pour la medecine qu'il faut davantge developper" (élèves ANM)

Enfin, le groupe d'élèves qui a analysé le cahier d'acteurs des Amis de la Terre estime comme cette organisation, que la santé doit être une priorité.

"Il était bien argumenté, nuancer et nous pensons qu'il est juste car la santé doit être une priorité. Dons nous sommes en accord avec notre dossier, nous sommes bien tombées. Cependant la nanotechnologies peut apporter des progrès." (élèves AdlT)

Ainsi les groupes d'élèves ayant étudié respectivement les cahiers de l'Académie de Médecine et des Amis de la Terre soulignent tous les deux l'importance qu'ils accordent aux problèmes de santé, l'un en se déclarant favorable aux développements des nanotechnologies pour la médecine, l'autre en insistant sur les préoccupations relatives à la santé.

7.1.2.3 Des groupes nuançant leur positionnement par rapport au contenu du cahier d'acteurs

Enfin, certains groupes d'élèves mettent l'accent sur des points peu détaillés dans leur cahier d'acteurs ou bien indiquent que des perspectives autres que celles développées dans leur document ont retenu leur attention. C'est le cas des élèves ayant eu entre les mains les cahiers des Amis de la Terre, de l'Association Française Transhumaniste, de la CFE-CGC, de la CNIL, de la FEBEA et de l'INRS.

Les élèves qui ont pris en charge l'analyse du cahier des Amis de la Terre nuancent ainsi leur positionnement en écrivant que bien qu'elles soient en phase avec le contenu de leur cahier d'acteurs, les nanotechnologies peuvent aussi être source de progrès.

"Il était bien argumenté, nuancer et nous pensons qu'il est juste car la santé doit être une priorité. Dons nous sommes en accord avec notre dossier, nous sommes bien tombées. Cependant la nanotechnologies peut apporter des progrès" (élèves AdlT)

La phrase où ces élèves déclarent "*Dons nous sommes en accord avec notre dossier, nous sommes bien tombées"* pourrait par ailleurs laisser entendre qu'elles ont repéré, au cours du jeu de rôle, d'autres positionnements que celui des Amis de la Terre et que pour elles, toutes ces prises de position ne se valent pas.

De leur côté, les élèves ayant étudié le cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste laissent entendre, eux, que les questions de sécurité et de protection des libertés les ont interpellées. Ils n'explicitent cependant pas ce qu'ils entendent par sécurité.

"D'accord avec ce cahier d'acteurs tout en étudiant un peu plus la sécurité et la liberté" (élèves AFT)

Pour leur part les élèves qui se sont penchés sur le cahier d'acteurs de la CFE-CGC jugent que ce document accorde trop de place aux questions économiques. Ils auraient souhaité un

discours plus “humaniste”. Ils ne donnent toutefois pas de précisions sur ce qu’ils glissent sous ce vocable.

> *“Bien mais trop économique et pas assez humaniste” (élèves CFE-CGC)*

Les élèves du groupe ayant étudié le cahier d’acteurs de l’INRS affichent aussi leur accord avec le contenu de ce document tout en signalant aussi que d’autres perspectives ont été présentées par d’autres acteurs. Les élèves ne rejettent alors pas ces autres arguments mais les qualifient au contraire d’ “entendables”.

> *“Nous sommes d’accord avec ce cahier d’acteurs. Néanmoins chaque acteur a présenté des arguments entendables” (élèves INRS)*

Enfin, les deux autres groupes d’élèves (celui travaillant sur le cahier de la CNIL et de la FEBEA) ne considèrent pas vraiment des perspectives autres que celles évoquées dans leur cahier d’acteurs. En revanche, ils auraient souhaité que certaines thématiques soient approfondies ou au contraire moins détaillées et que des informations supplémentaires soient apportées.

Les élèves ayant préparé le jeu de rôle à partir du cahier de la CNIL écrivent ainsi :

> *“Il est intéressant, mais pas assez complet, cela demanderait d’être approfondit” (élèves CNIL)*

Quant à ceux qui ont travaillé sur le document de la FEBEA, ils ont noté :

> *“- Certains thèmes sont trop explicites → dioxyde de titane et d’autres pas assez → protection des travailleurs.*
> *- Manque d’images pour mieux le comprendre et d’une explication de termes” (élèves FEBEA)*

De ces deux dernières suggestions, on peut déduire que les élèves sont demandeurs de plus d’informations sur certains thèmes évoqués dans leurs documents respectifs. Comme lorsque certains groupes d’élèves affirmaient que leurs cahiers étaient intéressants car ils apportaient des informations sur les nanotechnologies, on peut supposer ici que les élèves sont demandeurs de contenus sur ce que peuvent être les nanotechnologies, mais aussi sur la manière dont elles sont développées.

Finalement ce passage en revue des réponses à la question “Que pensez-vous du contenu du cahier d’acteurs que vous avez étudié ?” montre que l’activité de jeu de rôle a permis à plusieurs groupes d’élèves (ceux ayant travaillé sur les textes de l’INRS, de l’Association Française Transhumaniste, des Amis de la Terre ou de la CFE-CGC) de considérer d’autres perspectives que celles développées par l’organisation dont ils étudiaient le document. Beaucoup d’élèves marquent aussi leur intérêt pour cahier d’acteurs qu’ils ont analysé et deux groupes (celui de la Fondation Sciences Citoyennes et celui du CNRS et du CEA) justifient cet attrait en soulignant l’apport d’informations sur les nanotechnologies fourni par ces textes. Les demandes d’approfondissement de certaines thématiques évoquées par les groupes ayant travaillé sur les cahiers de la CNIL et de la FEBEA, semblent d’ailleurs aussi indiquer que les élèves sont demandeurs au sortir du jeu de rôle de plus d’informations.

Enfin, cinq groupes d’élèves (ceux qui ont étudié les cahiers de l’Académie de Médecine, des Amis de la Terre, de l’Association Française Transhumaniste, de la Fondation Sciences Citoyennes et de l’INRS) estiment partager - au moins globalement - les prises de positions mises en avant dans le cahier d’acteurs qu’ils ont étudié. Certains acteurs justifient rapidement pourquoi. D’autres apportent quelques nuances. Néanmoins, aucun groupe d’élèves n’a exprimé un désaccord de fond avec le contenu du document qui leur a été mis entre les mains.

7.2 Analyse de la discussion post-jeu de rôle

Nous en venons à présent à l’analyse de la discussion qui a suivi le jeu de rôle et des quelques échanges de discussion libre qui ont conclu la séance.

Ces discussions interviennent après que les élèves se soient rassemblés en petit groupe pour répondre aux questions que nous avons examinées au paragraphe précédent. Chaque groupe d'élèves a donc préparé une phrase résumant "le ou les point(s) clé(s) mis en avant par l'organisation auteur du cahier" qu'ils ont étudié. Tour à tour, ils les ont dictées à leur enseignante. Puis, les élèves se sont exprimés au travers d'un vote où ils ont donné leur voix aux deux propositions leur semblant les plus importantes après ce jeu de rôle sur les nanotechnologies.

La discussion s'engage alors et la gestionnaire de débat leur demande :

- d'expliciter les raisons de leur choix ;
- de détailler ce qu'ils ont pensé du contenu de leur cahier d'acteurs ;
- et enfin d'intervenir pour commenter le contenu du jeu de rôle.

Ce texte est construit en quatre parties. D'abord nous donnerons un aperçu de la trame du débat. Nous analyserons ensuite le contenu de la discussion en organisant notre propos de manière thématique puis nous examinerons l'argumentation des élèves. Enfin, nous conclurons ce texte par une discussion où nous reviendrons sur les éléments de réponse à notre problématique fournis par l'analyse de ce débat post-jeu de rôle.

7.2.1 Aperçu des thèmes abordés dans le débat

La discussion a commencé après que les élèves aient énoncé leurs phrases résumant le ou les points clés de leur cahier d'acteurs [2].

Les tableaux ci-dessous rassemblent les thèmes que nous avons identifiés tout au long des échanges, d'abord dans la discussion suivant immédiatement le vote, puis au cours des quelques minutes de discussion libre qui ont clos la séance.

Numéros de répliques	Thème(s)
111 à 160	Développer les nanotechnologies en mettant des limites
161 à 165	Risques et incertitudes
166 à 173	Information de la société et mise en débat des orientations scientifiques
174 à 191	Développer les nanotechnologies en tenant compte des questions de santé et d'environnement
192 à 193	Des réalisations issues des nanotechnologies utiles pour l'environnement
194 à 207	Intérêt pour l'aperçu des recherches et des initiatives donnés dans le cahier du CNRS et du CEA
208 à 210	Incertitudes et protection des travailleurs
211 à 213	Intérêt pour l'aperçu des recherches et des initiatives donnés dans le cahier du CNRS et du CEA
214 à 221	Les questions d'ordre économique dans le cahier de la CFE-CGC
222 à 233	Développer les nanotechnologies en tenant compte de la santé des personnes en particulier des salariés
234 à 275	La nanomédecine et l'amélioration des capacités humaines en question
276 à 305	Puces électroniques et libertés
306 à 311	Critique du cahier de la FEBEA
312 à 320	Importance de préserver la santé des individus et l'environnement

2. Ceci explique que la numérotation démarre à 111.

321 à 325	Développer les nanotechnologies en protégeant l'Homme et les Humains
326 à 337	Craintes face à l'accélération des développements et importance de développer la recherches sur les risques

Numéros de répliques	Thème(s)
338 à 357	Intérêt de découvrir les nanotechnologies et de l'apport de contenus sur ce thème
358 à 368	Multiplicité des perspectives et difficultés à se positionner

Le premier des deux tableaux ci-dessus laisse entrevoir que de nombreux élèves ont opéré dans leur discours un balancement entre "développer les nanotechnologies et placer des limites". Cette discussion a aussi été l'occasion pour plusieurs élèves de s'exprimer sur le contenu de leur cahier d'acteurs.

Nous allons à présent analyser thématique par thématique le contenu des interventions des élèves.

Nous commencerons par revenir sur l'ensemble des interventions où des élèves prennent des prises de position du type "il faut faire la part des choses : les nanotechnologies permettent des avancées, mais leur développement comporte des risques à prendre en compte". Nous examinerons ensuite les répliques des élèves qui mettent en avant la protection de la santé ou de l'environnement, puis celles discutant des utilisations des nanotechnologies en médecine. Nous détaillerons ensuite tour à tour les propos des élèves qui sont revenus sur l'utilisation de puces électroniques, sur la participation de la société aux choix scientifiques et technologiques et sur l'économie. Enfin, nous terminerons cette analyse en nous attardant sur les considérations des élèves portant sur les contenus mis à leur disposition dans les cahiers d'acteurs et sur la multiplicité des points de vue auxquels ils ont été confrontés lors du jeu de rôle.

7.2.2 Analyse thématique des échanges

7.2.2.1 Des avantages opposés à des risques "à prendre en compte"

À plusieurs reprises au cours de la discussion, des élèves ont pris la parole pour justifier leur vote. Beaucoup ont alors mis en avant qu'ils étaient grosso modo favorables au développement de ces nanotechnologies qui laissent augurer de nombreux progrès, avec un petit bémol tout de même. Ces développements sont accompagnés d'un certain nombre de risques à "prendre en compte".

Ce type de positionnement en demi-teinte et de discours très général opposant "les avantages et les inconvénients" des nanotechnologies se retrouve dès le début de la discussion.

111	Corentin (ANM)	Euh, j'ai voté transhumanistes, parce que je pense que c'est un peu pareil que l'Académie de Médecine et que... euh... (*quelques rires*) euh je sais plus. En tout cas, j'ai voté transhumanistes parce que dans laquelle on voudrait limiter, on dit qu'il faut faire attention à la nanotechnologie et une partie qui dit quand même que il faut la faire évoluer.
112	Gestionnaire du débat	D'accord quelqu'un veut réagir ?

113	Alice (AFT)	Euh bah moi je pense comme lui. Enfin j'ai voté donc transhumanistes et Académie de Médecine parce que voilà, ils font la part des choses en fait. Moitié moitié. Évolution, mais quand même en faisant attention à l'Homme quoi. Enfin et à l'Humanité.
114	Gestionnaire du débat	Ouais, tu... Donc évolution, c'est... Qu'est-ce que tu entends par évolution ?
115	Alice (AFT)	Bah l'évolution des nanotechnologies.
116	Gestionnaire du débat	Hunhun.
117	Alice (AFT)	Donc je pense que c'est important et en même temps, ouais voilà, il faut faire attention quand même parce que ça peut-être dangereux
118	Gestionnaire du débat	Si il y en a qui veulent réagir là-dessus ou qui sont... qui *(Fabienne lève la main)* Ouais à côté, vous aviez levé la main.
119	Fabienne (AFT)	Ouais moi je suis du même... J'suis du même accord que.
120	Gestionnaire du débat	Tu es du même avis qu'eux ?
121	Mélanie (AFT)	*(rire)* du même avis. *(Fabienne rit)*
122	Gestionnaire du débat	Ouais tu es d'accord avec eux ? Euh ouais tu avais levé la main ?
123	Stéphane (CNIL)	Ben moi je, j'entends qu'ils disent que, qu'ils font la part des choses entre évolution et... et sécurité mais... mais c'est quoi leurs engagements à ces deux associations ? Ils... ils disent qu'ils pensent que, ils disent pas ce qu'ils pensent, ils disent juste qu'ils font la part des choses. On n'a pas de notions concrètes pour l'Académie de Médecine et les transhumanistes.

La phrase résumant les points clés du cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumanistes proposée par les élèves qui ont étudié ce document et avec laquelle Corentin se déclare en accord dit ceci :

> *La sécurité de l'humanité tout en permettant l'évolution*

L'idée d'évolution n'est pas explicitée. Il semble que Corentin l'entende d'une manière assez générale puisqu'il dit qu'il s'agit de "faire évoluer la nanotechnologie". Un peu plus tard, Alice entretient d'ailleurs l'ambiguïté sur ce qu'elle et son groupe entendent au travers du terme "évolution". Sollicitée par la gestionnaire de débat, l'élève qui a représenté le cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste explique en effet qu'il s'agit de " l'évolution des nanotechnologies."

Corentin se déclare donc en faveur d'un développement des nanotechnologies tout en "faisant attention".

Deux des élèves qui ont étudié le cahier de l'Association Française Transhumaniste renchérissent alors, tout en restant dans une discussion très abstraite. Il s'agit de "faire la part des choses", de faire "moitié, moitié". L'une d'entre elles indique aussi avoir voté pour le positionnement de l'Académie de Médecine tel que l'ont présenté les élèves ayant étudié ce cahier :

> *L'encadrement nécessaire des nanotechnologies ne doit pas freiner leur développement*

À nouveau, cette proposition conjugue l'idée de développement et d'encadrement, c'est à dire d'imposition d'un certain nombre de limites.

L'élève représentant la CNIL pose alors la question de l'engagement de ces deux organisations, Académie de Médecine et Association Française Transhumanistes, en soulignant le niveau de généralité des prises de position proposées.

> *"On n'a pas de notions concrètes pour l'Académie de Médecine et les transhumanistes."*

L'élève qui a représenté l'Association Française Transhumaniste est alors amenée à expliciter un peu ce qu'ils entendent en demandant la "sécurité de l'humanité"

129	Alice (AFT)	Bah on n'a pas peut-être pas forcément tout dit, mais si, enfin... Ils font quand même attention quoi.
130	Stéphane (CNIL)	Attention à quoi ? Je sais pas c'est pas... C'est pas indiqué dans la phrase.
131	Alice (AFT)	Bah de pas aller trop vite.
132	Mélanie (AFT)	Ils disaient de pas aller trop vite.
133	Corentin (ANM)	La phrase, elle pouvait pas faire 40 mots non plus, hein.
134	Gestionnaire du débat	Alors peut-être oui, vous pouvez détailler. Qu'est ce que vous entendez par faire attention euh dans... ?
135	Alice (AFT)	Ben pas, pas permettre... Enfin qu'il y ait des limites quand même dans le, dans les modifications apportées à l'Humain et donc aux technologies, aux nanotechnologies, quoi, enfin...
136	Gestionnaire du débat	C'est çà qu'ils disent euh... dans le cahier euh ?
137	Mélanie (AFT)	Ils disent de garder la liberté des gens aussi.
138	Alice (AFT)	Ouais voilà, la liberté et tout et... Et qu'il faut pas aller trop vite et que même si l'évolution, ils la veulent, faut s'adapter aussi à la société quoi. Donc bon.
139	Gestionnaire du débat	Hum. Et oui, ça te satisfait ?
140	Stéphane (CNIL)	*(sans conviction)* Oui...
141	Françoise *(enseignante)*	Stéphane.
142	Gestionnaire du débat	Pardon ?
143	Stéphane (CNIL)	*(Plus fermement)* Oui, oui.

Les élèves qui ont étudié le cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste détaillent ce qu'elles entendent par "faire attention" en soulignant

- qu'il faut placer des limites aux modifications apportées à l'humain donc aux nanotechnologies (tour de parole 135) ;
- que l'association Française Transhumaniste souhaite préserver la liberté des individus (tour de parole 137) ;
- que l'association Française Transhumaniste demande un développement des nanotechnologies sans précipitation (tours de parole 130 et 131) et qu'il faut s'adapter à la société (tour de parole 138).

On peut mettre en regard ces deux derniers points avec l'extrait du cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste où cette organisation explique que le développement des nanotechnologies n'a pas besoin de s'opérer dans la précipitation.

> *"À partir de là, la réflexion sur l'usage des nanotechnologies, comme de toute technologie en général, s'éclaire : le développement des nanotechnologies est souhaitable dans la mesure où il participe à l'augmentation des possibilités de l'humanité,*

où il contribue à perpétuer son existence et sa pensée. Donc, les Transhumanistes français proposent de considérer que l'on peut assumer les responsabilités qui accompagnent les nouvelles possibilités offertes, que l'on peut chercher l'équilibre entre la liberté des individus concernant leur corps et l'effet des modifications sur la société ; que l'on peut enfin assumer la diversité des individus composants une société de tolérance.

Bien entendu, pour longtemps encore, il est hautement probable que la pensée humaine demeure liée au corps - plus ou moins celui que nous connaissons. Il sera donc nécessaire de préserver les équilibres dont ces corps dépendent : une planète viable, une ou des sociétés humaines suffisamment stables et dynamiques à la fois.

Notons bien qu'il n'y a pas urgence. L'Humanité n'est pas menacée au point d'avoir à tout prix besoin que ces technologies soient développées le plus vite possible quitte à prendre les plus grands risques." (AFT)

Par ailleurs, en affirmant que l'Association Française Transhumaniste demanderait qu'il y ait des limites aux modifications apportées à l'être humain, les élèves nous semblent émettre un point de vue différent de ce que l'on peut lire dans le cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste. Dans la deuxième page de leur cahier, cette association s'interroge :

"Cette nouvelle révolution porte également sur les modifications possibles des individus. Se pose alors la question de la liberté accordé à ces derniers et du degré de contrôle exercé par l'Etat. Considérons nous que l'Etat doit légiférer et décider du corps des individus ? Quelles seront les conséquences réelles des libertés accordées ou des interdictions imposées ? La loi doit-elle trancher, pour tout un pays , sur la base d'une philosophie, ou d'une tradition religieuse ou non ? Ou bien régulerons-nous en fonction des effets concrets que des individus modifiés auront sur la Société ?" (AFT)

La réponse à ces questions des transhumanistes se trouve un peu plus loin dans le paragraphe que nous avons déjà cité où l'Association Française Transhumaniste écrit :

"on peut chercher l'équilibre entre la liberté des individus concernant leur corps et l'effet des modifications sur la société". (AFT)

L'AFT ne prône donc pas pour l'imposition de limites a priori sur les modifications de l'humain mais propose de réguler en fonction des effets concrets des individus modifiés sur la société.

Suite à ce premier épisode de discussion où quatre élèves affichent un positionnement très général qui "ferait la part des choses" et trierait le grain de l'ivraie dans les développements des nanotechnologies, la gestionnaire de débat sollicite les élèves ayant étudié le cahier de la Fondation Sciences Citoyennes. Elles aussi font alors écho à ce discours un peu souple selon lesquels il ne faut pas négliger les bienfaits des nanotechnologies tout en tenant compte de leurs risques.

144	Gestionnaire du débat	Oui, oui... Ouais ? Il y en a d'autres qui veulent expliquer leur vote ? Parce que là on n'a entendu des gens qui ont voté pour les transhumanistes, il y en a d'autres qui veulent euh expliquer pourquoi ils ont voté çà ? Exprimer quels sont les arguments qui les ont conduits à voter çà ? *(Personne ne se manifeste)* Alors on va prendre le problème dans l'autre sens. Il y en a qui ont... pour la Fondation Sciences Citoyennes, recueilli zéro votes et en particulier vous avez pas voté pour votre cahier.

145	Elina ou Alice (FSC)	Non...
146	Gestionnaire du débat	Euh, pourquoi ? Pourquoi vous avez pas voté... Qu'est-ce qui vous semble insuffisant ? Qu'est-ce que vous avez pensé du contenu du cahier pour lequel vous avez voté ?
147	Elina (FSC)	Bah, on trouve que la socié... enfin que la place de la société est importante mais... ça... Le cahier par... fait... il prend pas en compte tout ce qui important par rapport aux nanotechnologies, comme le font l'Académie de Médecine ou les Transhumanistes.
148	Gestionnaire du débat	Hunhun...
149	Elina (FSC)	Qui font la part des choses
150	Gestionnaire du débat	Tu peux juste rappeler un peu le contenu du cahier, comment il est construit ? Nous donner des indications pour qu'on comprenne un peu mieux ce que vous vous avez lu euh... Allez-y allez-y... Ouais ?
151	Serena (FSC)	Disons qu'il parle beaucoup sur le, la société bah par rapport aux autres en fait. Que personne n'est vraiment au courant. Certes c'est vrai mais euh, d'un côté, ça permet beaucoup d'évolution des... où on en est maintenant. C'est vrai que la médecine et tout amènent beaucoup de choses dedans et c'est important, je pense... Aux progrès... Et c'est vrai que eux, ils sont plus pour ralentir euh, arrêter même. D'un côté, c'est vrai qu'il y a des risques mais... Je suis pas vraiment, été vraiment d'accord qu'une... qu'à moitié d'accord avec eux en fait.
152	Gestionnaire du débat	Tu es d'accord sur quoi et
153	Serena (FSC)	Que la moitié. Bah sur les risques, il faudrait peut-être faire plus sur les risques, c'est pour ça que j'ai voté sur les Amis de la Terre, parce qu'il y avait beaucoup de risques
154	Gestionnaire du débat	Hunhun
155	Serena (FSC)	Et qu'il faudrait y prendre part, ainsi que bah d'un côté euh, bah ils mettent pas trop en compte tout ce qui est, enfin... nano

L'élève qui a représenté la Fondation Sciences Citoyennes au cours du jeu de rôle, lorsqu'elle précise son positionnement vis-à-vis du cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes semble surtout en avoir retenu deux choses :

- l'absence d'information des citoyens

- la volonté de ralentir ou de porter un coup d'arrêt aux développements des nanotechnologies (*"eux, ils sont plus pour ralentir euh, arrêter même "*), notamment pour mieux en prendre en compte les risques.

Elle et son groupe ont d'ailleurs résumé les points clés du cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes de la façon suivante :

> *Place de la société et présence de risque dans le développement des nanotechnologies*

L'élève estime aussi que le discours de la Fondation Sciences Citoyennes ne laisse pas assez de place aux "progrès" annoncés notamment dans le domaine de la médecine. Puis ayant souligné

l'importance qu'elle attribue aux possibilités ouvertes par les nanotechnologies, l'élève indique également qu'elle a voté pour la position des Amis de la Terre en justifiant ce choix par l'évocation des "risques".

Les élèves travaillant sur l'argumentaire des Amis de la Terre avaient en effet proposé comme phrase résumant selon eux les points-clés de leur cahier :

> *Un moratoire est essentiel afin de faire plus de recherche sur la santé et l'environnement*

L'élève qui a représenté la Fondation Sciences Citoyennes semble donc osciller entre un accueil bienveillant de certaines réalisations des nanotechnologies en particulier dans le domaine de la santé et volonté de prendre en compte en priorité les problèmes sanitaires et environnementaux puisqu'elle se prononce pour un moratoire.

Ce type de positionnement qui "ferait la part des choses", pour reprendre l'expression de l'élève à la réplique 149, se retrouve tout au long de la discussion. L'élève qui représenté les Amis de la Terre au cours du jeu de rôle s'exprime aussi en reprenant ce balancement entre permettre "des progrès" et tenir compte des risques, en particulier pour la santé.

180	Gestionnaire du débat	Ouais ? Tu voulais par... prendre la parole ?
181	Miriam (AdlT)	Parce que nous dans notre cahier, ils sont pas forcément pour tout mais ils disent pas non plus que c'est nul, enfin... On disait que on pouvait mettre de côté un peu les recherches pour aller loin, pour s'occuper de la santé mais c'est pas vraiment qu'il faudrait arrêter.
182	Gestionnaire du débat	Tu as voté pour euh, pour qui toi ?
183	Miriam (AdlT)	Moi j'ai euh, bah voté pour nous. *(Rire des 3 filles qui ont travaillé sur le cahier des Amis de la Terre)*
184	Gestionnaire du débat	Ouais pour les Amis de la Terre
185	Miriam (AdlT)	Et euh, et C... le CNRS
186	Gestionnaire du débat	Le CNRS - CEA ?
187	Miriam (AdlT)	Ouais.
188	Gestionnaire du débat	Tu peux nous expliquer pourquoi t'as voté ces deux asp... ces deux-là ?
189	Miriam (AdlT)	Bah dans ce qui nous disent dans la phrase (*? je ne suis pas sûre à 100% de ce début de phrase*) ; Oui c'est important la nanotechnologie. Ça peut permettre quand même des progrès mais c'est pas pour autant qu'il faut négliger la santé et l'environnement.
190	Gestionnaire du débat	Hunhun
191	Miriam (AdlT)	Au détriment de la technologie quoi.

Un des élèves qui a étudié le cahier de la CFE-CGC explique un peu plus tard que lui aussi cherche à concilier développement des nanotechnologies et "sécurité de l'Humanité".

223	Matteo (CFE-CGC)	Bah moi, personnellement, j'ai voté pour les transhumanistes parce que je pense que la sécurité de l'Humanité et en même temps de développer les nac... les nanotechnologies c'est aussi important.

224	Gestionnaire du débat	Qu'est-ce que t'entends par "sécurité de l'Humanité" ?
225	Matteo (CFE-CGC)	Bah de protéger la santé des personnes
226	Gestionnaire du débat	Ouais ?
227	Matteo (CFE-CGC)	Et travailler également dans les nanotechnologies.
228	Gestionnaire du débat	Alors par contre, (*aux filles qui ont travaillé sur le cahier des transhumanistes*) juste les filles, quand vous dites là, des transhumanistes, quand vous dites la sécurité, qu'est-ce que vous entendez aussi ? Est-ce que vous entendez la même chose ? Parce que là donc tu as dit que la sécurité, toi, de l'Humanité, ce que t'entendais par là
229	Matteo (CFE-CGC)	C'est la santé des personnes.
230	Gestionnaire du débat	(*aux filles qui ont travaillé sur le cahier des transhumanistes*) Vous, vous entendez quoi par sécurité de l'Humanité ?
231	Alice (AFT)	Bah oui... Enfin, oui. Les personnes... mais aussi l'environnement, enfin, la Terre.

Ici, interrogé par la gestionnaire de débat sur la façon dont il interprète l'expression de "sécurité des personnes", l'élève qui a étudié le cahier de la CFE-CGC parle de protéger la santé des individus. Questionnée à son tour, l'élève qui a représenté l'Association Française Transhumaniste ajoute, elle, qu'il s'agit aussi de prendre en compte l'environnement.

Protéger les hommes et l'environnement, c'est aussi ce que demande l'élève qui a représenté la Fédération des Entreprises de la Beauté dans le jeu de rôle qui à son tour, à la fin du débat, se déclare également favorable au développement de nouvelles technologies permettant *"au monde d'avancer"*.

321	Thomas (FEBEA)	Bah moi j'ai voté pour le CNRS parce que je pense que bah l'Homme il évolue et que bah, il découvre de nouvelles choses euh tous les jours, donc pourquoi pas les nanotechnologies.
322	Gestionnaire du débat	Hunhun. (*à Thomas*) Et toi tu as voté pour qui par rapport euh, dans tout çà ?
323	Thomas (FEBEA)	Ben moi j'ai voté, bah comme Lilian, transhumanistes et CFE-CGC.
324	Gestionnaire du débat	Ouais. Ouais ouais ouais. Et tu peux nous expliquer un peu pourquoi tu as voté pour euh la CFE-CGC et puis aussi pour les transhumanistes ?
325	Thomas (FEBEA)	Bah c'est un peu pour la même raison que Lilian, c'est protéger l'environnement et les humains avant de, tout en construisant de nouvelles technologies qui permettent au monde d'avancer.

Comme le montre cet ensemble d'extraits de la discussion finale, de nombreux élèves prennent des positions très générales sur les nanotechnologies et déclarent simultanément vouloir favoriser le développement des nanotechnologies, qu'ils jugent porteur de progrès, et tenir compte des "risques". La notion de progrès est illustrée à un endroit par des applications en médecine,

lorsque l'élève qui a représenté la Fondation Sciences Citoyennes explicite son point de vue. Quant à la prise en compte des risques, les élèves qui détaillent ce qu'ils entendent par là restent très abstraits et mettent en avant l'importance de poser des limites, de préserver l'environnement et d'éviter les problèmes sanitaires. Nous allons justement revenir un peu plus en détail dans le paragraphe suivant sur la manière dont sont traitées les questions d'ordre sanitaire et environnemental au cours de la discussion.

7.2.2.2 Préserver la santé des individus et l'environnement

Les questionnements d'ordre sanitaire et environnemental ont déjà transpiré dans certains des extraits que nous avons présentés au paragraphe précédent. Et pour cause, les références à ces interrogations ont lieu essentiellement lorsque des élèves affirment qu'il faut développer les nanotechnologies en tenant compte des "risques". Les interventions des élèves sur ces questions sont alors très générales. D'ailleurs, de toute la discussion le terme de nanoparticules ou de nanomatériaux n'a pas été prononcé. Les élèves parlent de nanotechnologies sans préciser quels sont les objets issus des nanotechnologies et présentés dans leurs cahiers d'acteurs qui seraient au cœur des préoccupations sanitaires et environnementales.

On trouve encore un exemple de cette expression d'une volonté de tenir compte des problèmes sanitaires et environnementaux en des termes assez généraux lorsque Lilian, qui a analysé le cahier d'acteurs de la FEBEA, expose les raisons de son vote.

311	Lilian (FEBEA)	Ouais. Et ils sont trop centrés sur le dioxyde de titane. Et en fait, ils ont pas assez euh développé les autres thèmes abordés...
312	Gestionnaire du débat	Et donc vous, vous avez pris parti pour qu, quelle organisation et pourquoi ?
313	Lilian (FEBEA)	Euh pour les transhumanistes et pour la CFE-CGC, parce que je pense que la, la sécurité de l'Homme en général c'est, c'est une chose les plus importantes
314	Gestionnaire du débat	Hunhun
315	Lilian (FEBEA)	Et que si... sans cette sécurité on pourrait pas faire euh, des nanotechnologies euh...
316	Gestionnaire du débat	Et donc, et par contre vous avez pas... Pourquoi vous avez pas voté pour la CNIL euh qui aussi soulève des questions de sécurité ? Ça vous semble moins important que les
317	Lilian (FEBEA)	Ouais.
318	Gestionnaire du débat	aspects environnementaux ou sanitaires euh.
319	Lilian (FEBEA)	Bah je trouve que ouais. Ouais. Je trouve que ce que disent les transhumanistes ou la CFE-CGC c'est, je trouve çà plus important que ce que dit la CNIL. Après c'est... c'est personnel.

Lilian indique aussi que les points-clés du cahier d'acteurs de la CFE-CGC tels que les ont formulés les élèves étudiant ce document lui semblent importants. Ceux-ci ont proposé comme résumé de leur cahier la proposition suivante :

> *Les développements des nanotechnologies tout en protégeant la santé des salariés*

À nouveau, on retrouve l'idée de développer les nanotechnologies en posant des conditions pour tenir compte des questionnements soulevés par certaines réalisations. Cette fois-ci ce-

pendant, l'allusion aux pistes de régulation est légèrement plus précise : il s'agit de protéger les travailleurs.

D'autres élèves insistent aussi au cours de la discussion sur l'importance d'accorder une attention particulière à la prévention des risques en milieu professionnel.

224	Gestionnaire du débat	Qu'est-ce que t'entends par "sécurité de l'Humanité" ?
225	Matteo (CFE-CGC)	Bah de protéger la santé des personnes
226	Gestionnaire du débat	Ouais ?
227	Matteo (CFE-CGC)	Et travailler également dans les nanotechnologies.
228	Gestionnaire du débat	Alors par contre, (*aux filles qui ont travaillé sur le cahier des transhumanistes*) juste les filles, quand vous dites là, des transhumanistes, quand vous dites la sécurité, qu'est-ce que vous entendez aussi ? Est-ce que vous entendez la même chose ? Parce que là donc tu as dit que la sécurité, toi, de l'Humanité, ce que t'entendais par là
229	Matteo (CFE-CGC)	C'est la santé des personnes.
230	Gestionnaire du débat	(*aux filles qui ont travaillé sur le cahier des transhumanistes*) Vous, vous entendez quoi par sécurité de l'Humanité ?
231	Alice (AFT)	Bah oui... Enfin, oui. Les personnes... mais aussi l'environnement, enfin, la Terre.
232	Gestionnaire du débat	Hunhun. Ouais. Et *(à Mickaël)* vas-y.
233	Mickaël (CFE-CGC)	Pour moi c'est la même chose. Pour transhumanistes. Euh, pour moi c'est, c'est important de penser d'abord à la priorité des salariés euh parce que *(Laurent lui dit quelque chose bas)* quoi ? *(Laurent fait "non, non")* Euh parce que, on va dire que les salariés sans eux, euh, l'évolution enfin, le développement des nanotechnologies pourrait pas se poursuivre puisque il y aura rien qui pourra se faire donc euh bah les salariés c'est...Voilà c'est important.

Mickaël, un des élèves qui a travaillé sur la contribution de la CFE-CGC en préparation du jeu de rôle justifie son choix de mettre l'accent sur la protection des travailleurs en proposant un raisonnement pragmatique. Selon lui, il est souhaitable de développer les nanotechnologies. Or cela ne pourra se faire sans les acteurs qui au quotidien vont être les artisans de ces développements. C'est donc une priorité de protéger les salariés.

Un autre élève, qui lui a étudié le cahier du CNRS et du CEA aborde aussi le thème de la protection des travailleurs. Tout en restant assez général, il met en perspective cette préoccupation avec les incertitudes sur les risques des nanotechnologies.

209	Antoine (CNRS-CEA)	Si on connaît pas vraiment les risques des nanotechnologies, je pense que c'est, c'est intéressant de faire des recherches sur, pour protéger les employés par exemple qui sont en contact avec le

Le problème du manque de connaissances sur les effets des nanoparticules est également évoqué par les élèves qui ont examiné le contenu du cahier de la Fondation Sciences Citoyennes.

161	Corentin (ANM)	Mais est-ce que Sciences Citoyennes, euh ils, comment dire, ils préviennent les risques des nanotechnologies ?
162	Serena (FSC)	Non, ils en parlent juste en fait. Ils disent juste les risques. Ils disent pas par exemple, c'est dangereux pourquoi. C'est juste euh
163	Elina (FSC)	C'est normal ça a pas été prouvé
164	Serena (FSC)	Ouais ça a pas été prouvé
165	Elina (FSC)	Ils disent que c'est des risques mais que ça a pas été prouvé, qu'il faut financer des recherches parce que ça euh... On sait quand même que ça affecte euh, bah l'environnement donc ça peut être dangereux pour euh, pour l'homme, mais c'est pas encore prouvé. Du coup c'est pour ça qu'ils disent un peu de, qu'ils veulent arrêter et financer les recherches.
166	Corentin (ANM)	Mais est-ce que c'te... c'te fédération elle s'est quand même posé la question du positif, de savoir si euh, la nanotechnologie c'était euh, c'était important ? Est-ce que c'était utile, est-ce que c'était euh...

Les élèves mentionnent d'abord ici les incertitudes entourant les risques des nanotechnologies. L'une d'entre elles explique ensuite que du fait de "l'absence de preuves" sur ces risques et des dangers pour l'environnement ou l'homme, la Fondation Sciences Citoyennes préconise de financer des recherches et d'"arrêter" les développements des nanotechnologies.

À propos des questions de toxicité et de risques, on peut lire dans le cahier d'acteurs de cette organisation :

> *"Non seulement les citoyens n'ont pas la possibilité de décider en connaissance de cause, mais de plus, ils ignorent que des nanoproduits sont déjà présents dans leur vie quotidienne (dans l'alimentation, les textiles, les cosmétiques, les matériaux de construction...), commercialisés sans aucune analyse de leur toxicité pour l'environnement et la santé humaine." (FSC)*
>
> *Le budget mondial alloué aux questions d'évaluation des risques, tout comme les études des effets toxiques des nanoparticules, notamment sur le long terme, restent insignifiants, de même que le budget en sciences humaines. Puisque les nanoparticules ne répondent pas aux lois de la physique classique, le principe d'équivalence en substance ne peut prévaloir : de nouvelles méthodes d'évaluation des risques, [et] notamment de la toxicité et de la dissémination de ces substances dans l'environnement, deviennent indispensables.*
>
> *> Quels sont les effets de la bioaccumulation et de la persistance des nanoparticules dans les organismes et dans notre environnement ?*
>
> *> Quels sont les modes de dispersion des nanoparticules dans notre environnement et quelles en sont les conséquences ? (FSC)*
>
> *Propositions*
>
> *1. Moratoire sur la recherche appliquée et la commercialisation des nanoproduits (FSC)*

Les élèves mobilisent donc des éléments du cahier d'acteurs dans leur intervention puisqu'ils se réfèrent aux incertitudes quant aux effets sur l'environnement et l'homme des nanoproduits déjà commercialisés, aux demandes de financement de recherches en toxicologie mais aussi à l'imposition d'un moratoire.

L'élève qui a représenté l'Académie de Médecine dans le jeu de rôle semble alors surpris de cette focalisation sur les risques. De nouveau, il ramène au "positif" et demande

> *"Mais est-ce que c'te... c'te fédération elle s'est quand même posé la question du positif, de savoir si euh, la nanotechnologie c'était euh, c'était important ? Est-ce que c'était utile ?"*

Ce souci de mettre en avant les avantages des nanotechnologies, au même titre que les risques se retrouve dans la bouche d'un autre élève, qui lui a étudié le cahier d'acteurs du CNRS et du CEA. Alors que l'élève qui a représenté les Amis de la Terre lors du jeu de rôle juge qu'il ne faut pas négliger la santé et l'environnement, l'élève qui a eu entre les mains le document du CNRS et du CEA souligne les perspectives d'application des nanotechnologies pour l'environnement.

183	Miriam (AdlT)	Moi j'ai euh, bah voté pour nous. *(Rire des 3 filles qui ont travaillé sur le cahier des Amis de la Terre)*
184	Gestionnaire du débat	Ouais pour les Amis de la Terre
185	Miriam (AdlT)	Et euh, et C... le CNRS
186	Gestionnaire du débat	Le CNRS - CEA ?
187	Miriam (AdlT)	Ouais.
188	Gestionnaire du débat	Tu peux nous expliquer pourquoi t'as voté ces deux asp... ces deux-là ?
189	Miriam (AdlT)	Bah dans ce qui nous disent dans la phrase (*? je ne suis pas sûre à 100% de ce début de phrase*) ; Oui c'est important la nanotechnologie. Ça peut permettre quand même des progrès mais c'est pas pour autant qu'il faut négliger la santé et l'environnement.
190	Gestionnaire du débat	Hunhun
191	Miriam (AdlT)	Au détriment de la technologie quoi.
192	Gestionnaire du débat	Ouais, alors peut-être qu'on va prendre euh là vos ouais, vos interventions. Allez-y euh.
193	Antoine (CNRS-CEA)	Oui mais, enfin donc les nanotechnologies ça peut servir à l'environnement parce que on développe des, des, des techniques qui permettent de, de consommer moins. Enfin, des... par exemple pour les batteries, des batteries plus propres. Ça peut aussi aider pour l'écologie et le développement durable.

L'exemple des batteries que l'élève cite ici figurait aussi dans le cahier d'acteurs du CNRS et du CEA où l'on peut lire :

> *"Le CEA et le CNRS développent prioritairement leurs activités de recherche en nanosciences et nanotechnologies dans cinq secteurs :*
>
> ***Les énergies à faible impact climatique.***
>
> *Les recherches portent, par exemple, sur l'économie et le remplacement des matériaux rares pour les batteries ou le stockage de l'hydrogène, sur les cellules solaires bas coût, sur les matériaux d'isolation des bâtiments, ou encore sur des technologies propres et économes en ressources assurant la qualité de l'eau et de l'environnement." (CNRS-CEA)*

Finalement, ce passage en revue des répliques où il est question des interrogations d'ordre sanitaire et environnemental nous permet de souligner trois choses.

D'abord les allusions à ces questions sont très générales et ont souvent lieu lorsque les élèves prennent position en faveur des développements des nanotechnologies tout en plaçant certaines limites pour tenir compte des "risques". Les termes de nanoparticules ou de nanomatériaux ne sont d'ailleurs pas mentionnés.

Ensuite, les pistes pour rendre cette prise en compte effective ne sont pas vraiment détaillées. Les seules précisions ébauchées dans ce débat portent :

- sur l'importance de protéger les travailleurs, en écho au contenu du cahier de la CFE-CGC
- et sur la demande d'un moratoire et la préconisation d'investir davantage dans les recherches en toxicologie à la suite de la Fondation Sciences Citoyennes mais aussi des Amis de la Terre.

Enfin un élève contrebalance ces prises de position sur les risques pour l'environnement en s'appuyant sur le contenu du cahier d'acteurs du CNRS et du CEA et en soulignant les perspectives ouvertes par les nanotechnologies pour "consommer moins" et "aider pour l'écologie et le développement durable".

7.2.2.3 La nanomédecine en question

Dans le paragraphe où nous examinions les prises de position des élèves se déclarant favorables au développement des nanotechnologies tout en tenant compte des risques, nous avions signalé que l'élève qui avait représenté la Fondation Sciences Citoyennes illustrait les progrès apportés par les nanotechnologies en citant les perspectives pour la médecine. Nous avions aussi indiqué que l'élève qui avait représenté l'Association Française Transhumaniste au cours du jeu de rôle estimait que cette organisation souhaitait placer des limites *"dans les modifications apportées à l'être humain"*.

Un peu plus tard dans la discussion, le thème des utilisations en médecine des nanotechnologies et en particulier pour améliorer les capacités de l'Humain est remis sur le tapis. Il suscite nombreux échanges et le premier élève à prendre la parole est l'élève qui a représenté la CFE-CGC au cours du jeu de rôle.

234	Gestionnaire du débat	Hunhun. Ouais, alors juste sur les transhumanistes peut-être il y a d'autres choses dans la sécurité de l'Humanité. Ils entendent quelque chose d'un peu plus loin. Alors peut-être vous pouvez regarder dans votre cahier d'acteurs et nous dire aussi un peu... préciser un peu ce qu'ils entendent par là. *(Laurent demande la parole)* Ouais ?
235	Laurent (CFE-CGC)	Bah je suis pas sûr, mais j'ai l'impression que les transhumanistes, c'est plus euh rendre l'humain meilleur, enfin d'avancer et par la technologie. Du coup, ça peut mener à une société euh un peu inégalitaire parce que... Entre euh, enfin... Pour être pourvu de ces dons, de ces améliorations enfin forcément, il faut de l'argent. Du coup, ça peut créer entre différents pays qui sont avancés différemment encore plus d'inégalités.
236	Gestionnaire du débat	S'il vous plaît, est-ce que vous pouvez écouter aussi ce que disent les autres. Ouais vas-y.
237	Laurent (CFE-CGC)	Donc euh, je disais ouais comme différents, entre différents pays, ceux qui seront plus évolués technologiquement pourront avoir accès à.. Si on améliore l'Homme, à des Hommes meilleurs, alors que ceux qui seront plus en retard ou moins riche pourront pas avoir accès à, à tout çà.

238	Gestionnaire du débat	Donc toi tu dis euh, c'est par rapport à l' "amélioration de l'Humain",
239	Laurent (CFE-CGC)	Ouais.
240	Gestionnaire du débat	Tu penses que ça peut créer des inégalités ?
241	Laurent (CFE-CGC)	Ouais.
242	Gestionnaire du débat	Ce, c'est... C'est çà que tu dis ?
243	Laurent (CFE-CGC)	Ouais.

Laurent qui a représenté la CFE-CGC lors du jeu de rôle estime que l'Association Française Transhumaniste défend l'amélioration de l'humain par la technologie. Il objecte alors que ce projet pourrait être porteur de nouvelles inégalités entre pays puisque bénéficier de ces "améliorations" aura nécessairement un coût.

L'élève qui a représenté l'Académie de Médecine prend alors la parole.

244	Gestionnaire du débat	Euh ouais ? *(à Corentin qui lève la main)* Ouais, alors on va, on va prendre ton intervention. Ouais vas-y.
245	Corentin (ANM)	Moi je suis pas bien d'accord avec çà, parce que je pense que la nanotechnologie, ce sera utilisé pour soigner et non pour remettre euh l'Homme à une certaine échelle ou pour en, pour en mettre en valeur d'autres. Je pense que ce sera, ça servira qu'à soigner euh.
246	Gestionnaire du débat	Ouais ?
247	Laurent (CFE-CGC)	Bah si c'est dans le domaine de la médecine, c'est très bien, mais si c'est dans le domaine par exemple euh, enfin, il y a plein d'autres domaines qu'on pourrait appliquer à l'Homme dans le futur pour bah pour... je sais pas, n'importe quoi, augmenter les capacités physiques et caetera, et donc tout ce qui sera amélioration de l'Homme, si il y a qu'une partie qui en profite, bah ça sera... ça sera inégalitaire.

Pour l'élève qui a étudié le cahier d'acteurs de l'Académie de Médecine, les nanotechnologies ne seront utilisées que pour soigner et non pour "mettre en valeur" certains hommes. Il semble donc écarter le scénario de l'amélioration de l'humain. La gestionnaire de débat propose alors d'aller voir ce que disent les auteurs du cahier de l'Association Française Transhumaniste.

248	Gestionnaire du débat	Ouais. On peut juste reprendre par rapport aux transhumanistes
249	Alice (AFT)	Bah nous, ils disent euh que leur morale et leur éthique euh doit être guidée par les impératifs écologiques, sociaux et politiques. Donc voilà.
250	Gestionnaire du débat	Ouais... Ouais, ouais.
251	Alice (AFT)	Et que les nanotechnologies doivent être développées pour autant que leur emploi permet de renforcer les chances de perpétuation de la pensée humaine.

252	Gestionnaire du débat	D'accord,
253	Alice (AFT)	Donc c'est vraiment les libertés euh, voilà *(ses derniers mots sont inaudibles)*

L'élève qui a représenté l'Association Française Transhumaniste cite ici textuellement un passage du cahier d'acteurs qu'elle a étudié. Il est en effet écrit dans ce document :

> "Ainsi, ***notre morale, et notre éthique, doivent être guidées par les impératifs écologiques, sociaux et politiques. Les nanotechnologies doivent être développées pour autant que leur emploi permet de renforcer les chances de perpétuation de la pensée humaine."*** *(AFT)*

L'élève tire comme conclusion de ces points de vue, que l'Association Française Transhumaniste traite des libertés. Le lien qu'elle établit entre le contenu de ces quelques lignes et "les libertés" n'est cependant pas évident [3]. La gestionnaire de débat essaie alors de recentrer la discussion sur le thème de l'amélioration des performances humaines.

254	Gestionnaire du débat	Et par contre, donc çà, c'est la citation du cahier. Par contre là donc euh... toi... Désolée, je connais pas les prénoms. *(Pb - il manque quelques secondes)* (...) de l'Humain et donc de... le fait que ça ne soit pas appliqué uniquement à la médecine, donc à vocation de soigner mais pour améliorer les capacités. Est-ce que il y a ça dans votre cahier euh ?
255	Alice (AFT)	Les capacités ben... Ouais enfin... Si c'est la médecine en fait, mais euh
256	Gestionnaire du débat	Est-ce que vous pouvez nous citer le passage éventuellement ?
257	Alice (AFT)	Ben... Ben, "nanomédecine, thérapies pratiquées par des nanorobots injectés dans l'organisme, médicaments délivrés par une nanocapsule euh avec pour conséquence possible un allongement encore important de l'espérance de vie." Euh, il y a aussi "les nanoimplants afin d'améliorer les capacités motrices, perceptives ou cognitives du corps et du cerveau", mais aussi des améliorations sur la nature, par exemple "la création des matériaux
258	Gestionnaire du débat	Hunhun
259	Alice (AFT)	aux propriétés inédites".
260	Gestionnaire du débat	Donc par rapport à ce que tu disais, ça va quand même un peu dans le sens où tu disais quand tu parlais d'amélioration de l'Humain euh. *(A Corentin)* Ouais, tu voulais intervenir pardon ?
261	Corentin (ANM)	Ben moi je pense que à première vue, euh ça se développera déjà dans la médecine. On va sûrement découvrir que c'est bénéfique, que c'est bien, que ça nous met en meilleure forme, mais c'est sûr qu'après ça peut dériver et devenir euh..
262	Gestionnaire du débat	Hun, hun... Ouais, les Amis de la Terre, enfin,

3. Nous reviendrons d'ailleurs finement sur l'analyse de l'argumentation au cours de cette discussion un peu plus bas.

Incitée par la gestionnaire de débat à citer précisément le contenu de son cahier d'acteurs, l'élève cite un passage sur les utilisations en médecine. Dans le cahier d'acteurs de l'AFT, on peut lire à ce sujet :

> *"Concernant l'Humain, les projets ne manquent pas non plus : Nanomédecine tout d'abord (thérapies pratiquées par des nanorobots injectés dans l'organisme, médicaments délivrés par nanocapsules) avec pour conséquence possible un allongement encore important de l'espérance de vie, mais bientôt, nano augmentations de tous ordres, grâce à des nano implants, afin d'améliorer les capacités motrices, perceptives ou cognitives du corps ou du cerveau. De telles perspectives amènent à s'interroger sur les conséquences, négatives ou positives d'une éventuelle diversification de l'espèce." (AFT)*

Toutefois, l'élève ne répercute pas cette dernière partie où l'AFT parle d'une *"éventuelle diversification de l'espèce"*. En revanche, elle mentionne à cet endroit *"la création de nouveaux matériaux"* qui figure aussi dans le document rédigé par l'Association Française Transhumaniste.

> *"Que les nanotechnologies tendent à modifier au fond la Nature, l'Humain et l'Humanité nous est montré par de multiples exemples. Pour ce qui est de la Nature, c'est la définition même des Nanotechnologies qui le précise, puisqu'il est question de techniques (transformation de la nature par la main de l'homme) intervenant à l'échelle moléculaire ou atomique. Les matériaux nouvellement créés n'existent pas à l'état naturel. Ils possèdent des propriétés inouïes." (AFT)*

L'élève qui a représenté l'Association Française Transhumaniste ne tire alors aucune conclusion de ces citations. À ce moment l'élève qui a représenté l'Académie de Médecine dans le jeu de rôle se manifeste à nouveau. Il semble nuancer son positionnement par rapport à sa déclaration à la réplique 245 en estimant que selon lui, les nanotechnologies vont d'abord se développer en médecine. Là, il suppose que ces avancées "seront bénéfiques" mais n'écarte pas le fait qu' "après ça peut dériver".

Une des élèves qui a étudié le cahier d'acteurs des Amis de la Terre prend alors la parole pour évoquer le point de vue de cette association concernant les utilisations des nanotechnologies pour améliorer les capacités humaines.

263	Marine (AdlT)	Mais euh, même sur la médecine, ils disent euh, qu'il peut y avoir des inégalités euh sociales parce que ils disent que *lisant son cahier d'acteurs)* les recherches pour l'augmentation des capacités humaines, comme la réponse aux maladies et aux handicaps euh ça fait craindre une dérive vers une société où une minorité serait améliorée et l'autre pas.
264	Gestionnaire du débat	Ça c'est ce que disent les Amis de la Terre ?
265	Marine (AdlT)	Oui.
266	Gestionnaire du débat	Et toi tu en penses quoi ?
267	Marine (AdlT)	Bah que c'est vrai quand même parce que s'il y a un, un handicapé euh, peut avoir des nanotechnologies pour l'être un peu moins quoi, il faut qu'il ait de l'argent, il y a que les plus riches quoi, parce que ça va coûter cher, donc il y a que les plus riches qui pourront se l'offrir.

268	Gestionnaire du débat	Huhu. Ok. Les autres vous êtes d'accord là, qui ont aussi, qui avez aussi étudié le cahier d'acteurs des Amis de la Terre ? Vous en pensez quoi ? Vous avez des... une opinion ? Vous êtes d'accord là dessus ?
269	Miriam (AdlT)	Ce serait pas forcément juste. Il faut que ça soit... Après, il peut y avoir du profit parce que ceux qui ont de l'argent ils peuvent avoir... comme tout quoi.

Dans la réplique 263, l'élève qui a étudié le cahier d'acteurs des Amis de la Terre se réfère précisément à un extrait de ce document. À propos des travaux sur l'amélioration des capacités humaines, cette organisation écrit en effet :

> *"Les recherches pour l'augmentation des capacités humaines, avancées comme réponse aux maladies et aux handicaps, nous font craindre une dérive vers société où une minorité serait « améliorée », et l'autre pas. Où sera la frontière entre le soin et la transformation structurelle de l'humain ? Le déploiement généralisé des nanotechnologies risque de liquider la perspective humaniste qui fonde nos sociétés" (Amis de la Terre)*

L'élève ne reprend que la première partie de cette citation. Elle se positionne ensuite vis-à-vis de ce point de vue des Amis de la Terre en déclarant que "c'est vrai". Puis elle défend le point de vue implicite que ces développements favoriseront l'apparition de nouvelles inégalités et argumente à partir de l'exemple d'un individu handicapé qui, pour bénéficier de ces améliorations, devra payer [4].

Elle reprend ici l'idée d'inégalités, mais ne discute de ces améliorations qu'utilisées pour répondre aux handicaps et sans considérer le cas d'une "transformation structurelle de l'humain". L'élève qui a représenté les Amis de la Terre renchérit alors en soulignant que ça *"ne serait pas forcément juste".*

C'est ensuite au tour de l'élève qui a représenté l'Association Française Transhumaniste dans le jeu de rôle d'intervenir sur ces questions d'inégalités.

270	Gestionnaire du débat	Hun. Ouais ? Euh là
271	Alice (AFT)	Bah ouais je suis peut-être d'accord, mais, enfin, il y a des inégalités partout. Il suffit de dire... Parce que ils entendent quoi par inégalités ? Ça profitera à d'autres, enfin après...
272	Gestionnaire du débat	Alors juste *(aux filles qui ont travaillé sur le cahier de l'INRS),* ouais les filles vous voulez intervenir là-dessus ?
273	Maïwenn (INRS)	On va pas en créer plus justement. S'il y en a déjà, il faut essayer de les résoudre, on va pas encore en créer. *(Quelques rires et plusieurs élèves commencent à parler à leur voisins)*
274	Gestionnaire du débat	S'il vous plaît, levez la main pour parler. *(à Alice)* Tu voulais répondre ?
275	Alice (AFT)	Bah oui. Si ça améliore certains, pourquoi pas. Enfin, on ne va pas... On va pas laisser tout le monde, dans le monde, enfin dans le... dans le pas bien quoi, parce qu'il y a des inégalités. Enfin voilà. C'est sûr qu'après, s'ils développent pas, peut-être qu'après, tellement que ce sera développé, ça deviendra

4. De nouveau, nous examinerons en détail l'argumentation déployées par les élèves dans ce passage un peu plus loin.

275	Alice (AFT)	moins cher parce qu'il y en aura plus et... voilà. Je sais pas.

Alice met ici en avant que les arguments reposant sur la création des inégalités ne sont peut-être pas suffisamment forts pour motiver un abandon des développements des nanotechnologies pour améliorer l'humain. Elle termine de plus son intervention en imaginant une banalisation des applications des nanotechnologies qui entraînerait une chute de leur coût. Les inégalités devant l'amélioration des capacités humaines mis en avant par les autres pourraient alors, selon elle, s'estomper. Cette discussion marque alors un coup d'arrêt car le débat s'oriente sur une autre thématique.

Finalement, dans cette discussion sur les modifications de l'Humain, quatre élèves ont mis en doute le fait que le développement de ces "améliorations" serait souhaitable. D'abord l'élève qui avait représenté la CFE-CGC lors du jeu de rôle a émis l'hypothèse qu'étant donné que ces développements auraient un coût, seuls les pays riches pourraient y avoir accès. Il s'ensuivrait un accroissement des inégalités entre les pays. Deux des élèves ayant travaillé sur le cahier d'acteurs des Amis de la Terre ont, elles, proposé un argument légèrement différent en mobilisant le contenu de leurs cahier d'acteurs. Elles aussi mettent en avant la possibilité d'accroître les inégalités mais cette fois-ci entre les individus. Enfin une des élèves ayant étudié la contribution de l'INRS affirme également qu'il serait peut-être pertinent de travailler à combattre les inégalités existantes plutôt que d'en créer de nouvelles.

Deux autres élèves ont aussi discuté de l'amélioration des capacités humaines par des prothèses issues des nanotechnologies. D'abord l'élève qui avait représenté l'Académie de Médecine commence par estimer qu'à son sens, les nanotechnologies seront utilisées pour soigner et non pour "mettre en valeur certains". Puis, après que l'élève ayant étudié le cahier de l'Association Française Transhumaniste ait cité certains extraits parlant d'utilisation de nano-implants pour améliorer les capacités humaines, il intervient de nouveau déclarant que dans un premier temps les nanotechnologies seraient certainement utilisées pour soigner et qu'on découvrirait alors sans doute qu'elles seraient bénéfiques. Il n'écarte cependant pas la possibilité de "dérives" sans expliciter la signification que revêt pour lui ce terme dans ce contexte.

Enfin, l'élève qui a représenté les transhumanistes dans le jeu de rôle est aussi intervenue. Sa première intervention dans cette partie de la discussion est une réponse à la sollicitation de la gestionnaire de débat où elle cite le contenu de son cahier sans que le passage ne soit vraiment en rapport avec la discussion. Finalement, vers la fin de cet épisode de discussion, elle met en doute que l'existence d'inégalités soit un obstacle suffisant au développement des nanotechnologies pour améliorer les capacités de l'humain.

7.2.2.4 Puces électroniques

Suite à ce long épisode de discussion sur l'utilisation des nanotechnologies pour améliorer l'humain, la gestionnaire de débat sollicite les élèves qui ont travaillé sur le cahier d'acteurs de la CNIL en leur demandant d'expliciter leur vote. La discussion s'oriente alors sur le thème de l'utilisation de puces électroniques miniaturisées.

276	Gestionnaire du débat	Euh, il y en a qu'on a pas beaucoup entendu. Euh, vous de la CNIL *(à Stéphane)*, toi, tu as pris la parole, qu'est-ce que vous avez pensé vous de votre cahier d'acteurs ? Du cahier d'acteurs que vous avez étudié ? Et pour qui vous avez voté, si vous n'avez pas voté pour votre acteur ? Ouais allez-y.
277	Stéphane (CNIL)	*(à ses collègues)* Je vous laisse répondre.

278	Gestionnaire du débat	Chacun votre tour. *(Damien et Gregory se regardent)* Vous avez voté pour qui ? Pour quelle position ?
279	Damien (CNIL)	Pour euh, l'INRS
280	Gestionnaire du débat	L'INRS.
281	Gregory (CNIL)	La C-F-E-CGC
282	Gestionnaire du débat	Donc CFE-CGC. Vous pouvez expliquer d'abord votre vote et aussi pourquoi vous avez pas choisi le cahier d'acteurs de la CNIL ? Qu'est-ce qui vous a poussé à, à pas le choisir ?
283	Damien (CNIL)	Bah en fait moi je voulais voter, je voulais voter aussi pour la CNIL, mais... je me suis rendu compte après. *(quelques rires)*
284	Gestionnaire du débat	D'accord, donc tu peux nous expliquer pourquoi tu voulais voter pour la CNIL ? Euh qu'est-ce qui te semblait important ? Qu'est-ce qui dans le contenu euh...
285	Damien (CNIL)	Bah ils... euh
286	Gestionnaire du débat	Tu sais pas trop... Tu vois pas trop. Si tu veux, tu peux réfléchir un peu et *(Stéphane lève la main)* vas-y on prend... Réfléchis à tes arguments ouais ?
287	Stéphane (CNIL)	Bah pour moi c'est important parce que les puces électroniques, c'est la partie en fait des nanotechnologies la plus dangereuse pour la sécurité personnelle.
288	Gestionnaire du débat	hun
289	Stéphane (CNIL)	Parce que c'est une atteinte à la... à la vie... à la personnalité des gens en fait, c'est, ça peut être très dangereux et... et c'est un, c'est un projet de longue date quand même. Les puces électroniques, il y a eu beaucoup de financement dessus euh.
290	Gestionnaire du débat	Donc l'utilisation des puces électroniques de façon massive

Dans cet extrait, le premier élève semble mal à l'aise et pris de court pour expliquer à l'oral son accord avec la position de la CNIL que lui et ses camarades ont résumée ainsi :

> *"Les puces électroniques dans l'organisme, un projet à risques"*

Cette formulation centre le propos sur les puces implantables mentionnées dans le cahier d'acteurs de la CNIL. Cette commission fait effectivement référence à ces nouveaux dispositifs et sur la première page de son cahier d'acteurs, on peut lire :

> *"Les nanotechnologies entraîneront une révolution d'une ampleur comparable sinon supérieure au développement d'Internet. Elles permettent de façonner des objets à l'échelle atomique, à l'instar des puces RFID, aujourd'hui gravées à l'échelle nanométrique, et dont la taille les rend pratiquement indécelables. Passeports électroniques, titres de transport, et bientôt moyens de paiement sans contact, les RFID sont omniprésentes dans notre vie quotidienne et permettent de tracer nos déplacements. Des puces ou nano-puces seront peut-être bientôt implantées dans le corps humain. C'est même le cas dans certains pays, puisque certains se font déjà injecter des puces pour payer leurs consommations en boîte de nuit. À terme, les implants pourraient même devenir les outils incontournables de l'identification des personnes. De tels usages sont-ils acceptables par notre société ?" (CNIL)*

Dans leur formulation, les élèves qualifient l'implantation de puces électroniques dans l'organisme de "projet à risques". Ces deux idées : celle de projet et celle de risque sont aussi présentes dans les répliques 287 et 289 de l'élève qui a représenté la CNIL au cours du jeu de rôle. Selon lui, l'utilisation de ces puces est "la partie des nanotechnologies la plus dangereuse pour la sécurité personnelle". Le vocable de "sécurité personnelle" n'apparaît pas dans le cahier d'acteurs de la CNIL. Comme nous l'avons indiqué lors de l'analyse du jeu de rôle, cette organisation ne parle de sécurité que pour évoquer les problèmes de sécurité des données. Toutefois, elle questionne effectivement les répercussions de certains usages pour la protection des libertés et de la vie privée.

> *"Cela amène naturellement à s'interroger au sujet des nouveaux enjeux qu'elles* [ces technologies] *soulèvent en termes de protection de la vie privée et des libertés individuelles, ainsi qu'à propos des garde-fous à prévoir et de la capacité du cadre législatif actuel à répondre à ce nouveau défi technologique." (CNIL)*

Enfin, l'élève qui a représenté la CNIL met en avant dans la réplique 289, que le développement de ces puces serait l'aboutissement d'un projet "qui aurait été planifié de longue date" et qui plus est, aurait bénéficié de beaucoup de financements.

Cette référence à un projet mûri depuis longtemps et doté de larges financements ne nous semble pas apparaître dans le cahier d'acteurs de la CNIL. La CNIL relate plutôt l'apparition d'objets technologiques et d'usages désordonnés qu'elle interroge et qu'elle souhaiterait voir réguler.

> *"Face à ces technologies, invisibles et ubiquitaires, comment assurer, de façon effective, le respect des principes fondamentaux de protection des données à caractère personnel ? Comment garantir le caractère proportionné de leurs usages, la limitation de la durée de conservation des informations, ou la sécurité des données ? Selon quelles modalités assurer l'information des personnes et l'exercice de leurs droits ? Enfin, quel mécanisme de régulation faut-il prévoir ?" (CNIL)*

L'élève qui a représenté la CNIL apporte donc ici dans la discussion des éléments pour étayer son propos qui n'apparaissent pas dans le document que lui et son groupe ont analysé en préparation.

Il poursuit d'ailleurs sur cette idée d'un projet à risque qui serait en développement et à prendre en compte dans ses interventions suivantes.

291	Stéphane (CNIL)	Oui, c'est un projet, ça a déjà été utilisé aux États-Unis, c'est en commencement et, donc c'est un risque à pas négliger et qui faut vraiment prendre en compte le plus tôt possible avant que ce soit trop tard.
292	Gestionnaire du débat	Donc par rapport aux positions que défend la CNIL, toi qu'est-ce que tu en penses ?
293	Stéphane (CNIL)	Bah, je suis d'accord avec euh, bien sûr, mais c'est la façon dont ils l'ont défendu qui est, qui m'a pas spécialement intéressé.
294	Gestionnaire du débat	C'était sur la forme. Le fond
295	Stéphane (CNIL)	C'est pas le contenu, c'est la formule plutôt.
296	Gestionnaire du débat	La formulation.
297	Stéphane (CNIL)	Ouais voilà.
298	Gestionnaire du débat	Alors vous, qu'est-ce que vous en avez pensé euh ?

299	Françoise *(enseignante)*	Damien.
300	Gestionnaire du débat	Pourquoi tu pensais que tu voulais éventuellement voter pour la CNIL ?
301	Damien (CNIL)	Bah je pense que, c'est, c'est un projet à risque aussi. Je suis d'accord avec leurs idées.
302	Gestionnaire du débat	*(Des rires)* D'accord, tu es d'accord avec le contenu. *(Sèchement, à des filles qui se moquent)* C'est marrant ? *(à Gregory)* Ouais et puis euh
303	Françoise *(enseignante)*	Grégoire.
304	Gestionnaire du débat	Ouais ?
305	Gregory (CNIL)	Pareil qu'Stéphane.

Dans cet extrait, Stéphane insiste derechef sur le fait que le développement des puces électroniques implantables serait un projet en marche. Pour étayer cette affirmation, il ajoute de plus que "ça a déjà été utilisé aux États-Unis". De nouveau, il introduit un élément dans la discussion qui n'est pas mentionné dans le cahier d'acteurs de la CNIL. La CNIL elle propose en effet des exemples de réalisations impliquant des puces sous-cutanées, mais ne précise pas le lieu géographique où elles ont été développées et où elles sont utilisées. Elle écrit ainsi :

> *"Même s'il mérite réflexion, le recours à la technologie RFID dans le cadre de l'assistance à des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer peut sembler légitime. En revanche, que penser des implants que certains se font déjà injecter dans le bras pour régler leurs consommations en boîte de nuit ? De tels usages sont-ils acceptables et ne risquent-ils pas de se banaliser de telle sorte que les nano-puces deviendraient ensuite les outils incontournables de l'identification des personnes ?" (CNIL)*

En revanche, l'appel que formule l'élève ayant représenté la CNIL, à ne pas négliger les questionnements accompagnant l'utilisation de ces objets communicants miniaturisés et à les prendre en compte avant qu'il ne soit trop tard, est aussi mis en avant dans le cahier d'acteurs. La CNIL écrit ainsi :

> *"Face à ces enjeux, il faut dès à présent s'interroger sur la régulation à envisager et sur une éventuelle évolution du cadre législatif (lois de bioéthique, loi informatique et libertés...). Faut-il interdire certains usages des nanotechnologies ?" (CNIL)*

La gestionnaire de débat lui demande alors ce qu'il pense du cahier d'acteurs qu'il a eu entre les mains. Lui et un de ses camarades expriment alors leur accord avec le message véhiculé par la CNIL. Toutefois, l'élève ayant représenté cette organisation dans le jeu de rôle exprime quelques réserves sur sa forme.

Finalement, Stéphane, l'élève qui a représenté la CNIL lors du jeu de rôle déclare que ces questions sur la "sécurité personnelle" liées à l'utilisation de puces électroniques sont importantes et à prendre en compte rapidement. Pour lui, ces réalisations mettent en danger "la personnalité des gens" et il faut donc s'emparer de ces questionnements de toute urgence. Apportant des éléments dans la discussion autres que ceux contenus dans le cahier de la CNIL, il estime alors que ces développements sont le résultat d'un projet de longue date, ayant bénéficié de beaucoup de financements.

Cet élève marque aussi son accord avec les prises de position de la CNIL.

Enfin, ce passage en revue des interventions des élèves portant sur les questionnements engendrés par l'utilisation de puces électroniques miniaturisées met en évidence qu'ici, les seuls élèves qui interviennent sont ceux qui ont étudié le cahier d'acteurs de la CNIL. En d'autres termes, les seuls élèves qui prennent la parole sur les questions de protection des libertés et d'utilisation de puces électroniques sont ceux dont le cahier était explicitement orienté sur ce thème.

7.2.2.5 Rôle de la société

Outre les questionnements liés aux effets et aux objets issus des nanotechnologies, le contenu de quelques répliques porte aussi sur la manière dont les nanotechnologies sont développées dans nos démocraties. Ces questions sont abordées suite aux sollicitations de la gestionnaire de débat qui interroge les élèves ayant étudié le cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes. Elle les questionne sur la manière dont ils ont perçu et se positionnent vis-à-vis du contenu de ce document.

146	Gestionnaire du débat	Euh, pourquoi ? Pourquoi vous avez pas voté... Qu'est-ce qui vous semble insuffisant ? Qu'est-ce que vous avez pensé du contenu du cahier pour lequel vous avez voté ?
147	Elina (FSC)	Bah, on trouve que la socié... enfin que la place de la société est importante mais... ça... Le cahier par... fait... il prend pas en compte tout ce qui important par rapport aux nanotechnologies, comme le font l'Académie de Médecine ou les Transhumanistes.

L'une des élèves répond d'abord de manière assez générale déclarant qu'à la suite de la Fondation Sciences Citoyennes, elle et les autres élèves de son groupe pensent que la "place de la société" est importante. Elle reproche cependant au contenu du document qu'elle a étudié de ne pas considérer les avantages des nanotechnologies.

Cette observation sur le choix d'approche de la Fondation Sciences Citoyennes ne faisant pas la part belle aux "points positifs des nanotechnologies" va aussi être mise en avant quelques répliques plus tard par l'élève qui a représenté cette organisation au cours du jeu de rôle. Elle revient cependant d'abord sur le contenu du cahier d'acteurs en donnant quelques détails sur les points de vue défendus par cette organisation.

167	Serena (FSC)	En fait pour eux, ils trouvent que c'est quelque chose de personnel en fait, que ça pourrait... C'est une erreur d'avoir trop envisagé là-dedans parce que c'est le même entreprise qui euh... qui fait que pour eux, c'est à dire qu'il y a pas de société quoi... La société est pas au courant, donc forcément...
168	Gestionnaire du débat	D'ailleurs, là juste par rapport à la société, ils ont un cahier d'acteurs qui est assez particulier. Sur quoi est centré l'intérieur de leur cahier d'acteurs, la majorité de leur cahier d'acteurs ?
169	Serena (FSC)	C'est sur euh le budget, les finances...
170	Gestionnaire du débat	Ouais...
171	Serena (FSC)	Il y a beaucoup de budget qui va dedans. Euh, en 10 ans ça a énormément évolué et ça a doublé pour euh, en 2015 et que, bah, la société ne, n'a pas voté pour, en fait... On ne nous tient pas au courant de ce budget-là et forcément, c'est contre euh

172	Gestionnaire du débat	Donc
173	Serena (FSC)	Il faudrait demander en fait... Ils aimeraient qu'on demande d'abord à la société, que ce soit eux qui choisissent et pas euh... euh ben. C'est pour çà que comme, à un moment ils disent que les débats, c'était pour accepter les choix qui sont déjà décidés et pas pour participer qu'ils sont en avant.

Le début de l'intervention de l'élève qui a représenté la Fondation Sciences Citoyennes dans le jeu de rôle, est un peu hésitant. Elle y souligne l'absence d'information des citoyens. Puis interrogée par la gestionnaire de débat, l'élève décrit le contenu du cahier d'acteurs comme centré sur les finances et les questions de budgets.

Sans nécessairement centrer exclusivement sa contribution sur la dimension financière, la Fondation Sciences Citoyennes discute effectivement de l'importance des investissements engagés pour développer les nanotechnologies. On peut lire par exemple dans son cahier.

> *"Les moyens financiers investis dans l'unique but d'accélérer le développement de ces technologies sont dépensés de façon unilatérale, ce qui exclut de facto tout débat public sur les approches alternatives des mêmes problèmes et toute réflexion globale." (FSC)*

L'élève relate alors que la Fondation Sciences Citoyennes voudrait que la société ait son mot à dire dans l'orientation de ces budgets et rapporte aussi le point de vue de cette association sur les débats de la CNDP arrivant trop tard et ne pouvant donc qu'entériner des choix déjà pris. Ces affirmations sont bien mises en avant par la Fondation Sciences Citoyennes qui écrit dans son cahier :

> *"Dans le cas des nanotechnologies, les dernières grandes décisions ont été prises juste avant le débat : ainsi, l'engagement de doubler le budget et de faire des nanotechnologies une des priorités de la recherche française.*
>
> *On voit bien que le choix de ce mode de débat et de son calendrier n'a en rien pour objectif de faire participer le public à la prise de décision, mais bien de lui faire accepter celles déjà prises." (FSC)*

La gestionnaire de débat interroge alors l'élève pour qu'elle exprime son opinion sur le contenu de ce document. Elle déclare alors partager les points de vue exposés par la Fondation Sciences Citoyennes, mais aussi regretter qu'ils ne mettent pas en avant l'intérêt des développements des nanotechnologies.

174	Gestionnaire du débat	Et vous, vous en pensez quoi ? Vous avez lu le cahier, ou même les autres, qu'est-ce que vous en pensez de çà ?
175	Serena (FSC)	Moi, comme j'ai dit, moi je suis d'accord avec ce qu'ils disent mais à côté, ils montrent pas le positif aussi des, des faits.
176	Gestionnaire du débat	Vous aussi euh, (*Elina (FSC) fait oui de la tête*) vous êtes d'accord sur ces points-là ou il y a des choses que vous voulez rajouter ? Euh... (*Elina (FSC) fait signe que non ; à Corentin (ANM))* Et qu'est-ce que tu en penses toi du coup, toi qui était, qui
177	Corentin (ANM)	Ben j'ai l'impression que ces Sciences Citoyennes là, elles veulent vraiment mettre à néant les nanotechnologies et qu'ils se poseront jamais un jour la question de savoir si, mis à part les risques qui peuvent y avoir euh...

178	Elina (FSC)	Mais en même temps, ils s'appellent Sciences Citoyennes... C'est...par rapport au point de vue de la société. Ils vont pas forcément... Ils veulent montrer le contre. Ils vont pas non plus faire l'éloge.
179	Corentin (ANM)	Ouais. Non, mais sans faire l'éloge, ils peuvent quand même... Enfin, je trouve que c'est bizarre.

Face à l'exposé des prises de position de la Fondation Sciences Citoyennes, l'élève qui a représenté l'Académie de Médecine lors du jeu de rôle se montre dubitatif. Il manifeste son incompréhension face à ce qu'il considère être une volonté de réduire *"à néant"* les développements des nanotechnologies sans tenir compte des perspectives qu'elles ouvrent.

Une des élèves qui a étudié le cahier d'acteurs de cette organisation intervient alors. Elle rappelle que cette fondation se nomme "Sciences Citoyennes" et s'intéresse donc "au point de vue de la société". Elle en déduit que cette organisation a pour but de montrer les inconvénients des nanotechnologies, de "montrer le contre". Elle semble donc analyser le discours de la Fondation Sciences Citoyenne au travers d'une grille d'analyse binaire, opposant les avantages des nanotechnologies à leurs facettes négatives.

Ces interventions ont été les seules allusions explicites lors de cette discussion à la manière dont les citoyens peuvent s'approprier les choix scientifiques sur les nanotechnologies. On peut néanmoins repérer beaucoup plus tard dans la discussion, vers les toutes dernières répliques, des éléments de discussions qui soulignent que des élèves considèrent important de questionner les développements des nanotechnologies et où certains s'interrogent sur les priorités de développements.

Ainsi, l'élève qui a représenté l'Académie de Médecine questionne le rythme auquel sont développées les nanotechnologies.

327	Corentin (ANM)	Après je pense que ça on peut le prendre d'une autre vision qui consisterait à dire que on évolue quand même, on évolue quand même vite euh... On a beaucoup évolué ces 10 dernières années, on en arrive à parler de nanotechnologies, de puces euh, qu'est-ce que ça sera plus tard ? On peut aussi avoir, avoir peur.
328	Gestionnaire du débat	Avoir peur par rapport à ?
329	Corentin (ANM)	Bah je sais pas à la vitesse à laquelle on évolue, qu'est-ce que ce sera dans 50 ans euh...
330	Gestionnaire du débat	Et donc qu'est-ce que tu veux en faire de çà, quel est, du coup, qu'est-ce que... Ça t'amène à quoi par rapport aux positions qui sont défendues par les différents acteurs ?
331	Corentin (ANM)	Ah bah à dire quand même que, je pense qu'il faut que ce soit partagé. On a vu des oui, on a vu des (*fin du clip - il manque quelques secondes)* Il faut que ce soit partagé.
332	Gestionnaire du débat	Et par rapport à ce que disait la Fondation Sciences Citoyennes qu'est-ce que tu en penses ?
333	Corentin (ANM)	Euh, je pense qu'il faut quand même mettre euh, une bonne part du budget dans la recherche, avant tout.
334	Gestionnaire du débat	La recherche en quoi ?
335	Corentin (ANM)	Enfin dans la recherche sur les risques

336	Gestionnaire du débat	Hun.
337	Corentin (ANM)	Pour savoir les effets que ça peut avoir sur l'Homme, tout çà. Et ensuite, dans un deuxième temps euh... le développer.

L'élève qui a représenté l'Académie de Médecine constate une sorte d'emballement du rythme de notre "évolution" et estime que cela peut s'accompagner d'un sentiment de peur. Il indique alors qu'il serait souhaitable de développer en priorité les recherches en toxicologie afin de connaître les effets possibles des nanotechnologies sur l'Homme et ensuite seulement, de développer les nanotechnologies.

Il nous semble alors faire sienne l'une des revendications de la Fondation Sciences Citoyennes sur les priorités de recherche, alors qu'il semblait initialement hermétique à ses prises de positions.

Enfin, quelques répliques plus tard l'un des élèves ayant étudié le cahier d'acteurs de la FEBEA insiste sur l'importance pour le tout un chacun de s'informer sur les développements des nanotechnologies.

352	Gestionnaire du débat	Alors si vous deviez expliquer du coup, tu dis que tu sais un peu plus ce que sont que les nanotechnologies, toi aussi... Si vous deviez expliquer, je sais pas à quelqu'un, qu'est-ce que vous diriez ?
353	Alice (AFT)	Ben déjà savoir dans quels domaines c'est. Ben en gros j'avais vraiment pas vu tout ce que... ce que c'était quoi. Donc je sais que voilà, c'est pour l'amélioration de la médecine avec des voilà, je sais pas des petits appareils qui vont permettre euh, l'évolution.
354	Gestionnaire du débat	Hun.
355	Alice (AFT)	Enfin.
356	Gestionnaire du débat	Hunhun. Il y en a d'autres euh, toi qu'est-ce que tu dirais ?
357	Lilian (FEBEA)	Euh, documente toi. (*rire de sa voisine*) Non mais c'est, c'est quelque chose qui va dans... enfin dans le futur qui sera, je pense très important pour tout le monde. Et pour, dans tous les domaines euh sur Terre. Et donc c'... c'te façon, enfin euh mince

L'élève qui a analysé les prises de position de la FEBEA dans son cahier d'acteurs met en avant que tous les citoyens sont concernés par les développements des nanotechnologies et que chacun doit donc se documenter sur ces questions.

Finalement, ce qui ressort de cet examen des moments de discussions touchant à la place de la société dans le processus de développements des nanotechnologies, c'est d'abord l'importance que les élèves semblent de nouveau attacher aux "points positifs" des nanotechnologies.

Par ailleurs l'élève qui a représenté le cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes semble avoir bien compris les prises de position de cette organisation. Quand elle les expose, cela suscite l'incompréhension de l'élève qui a représenté l'Académie de Médecine qui y voit une volonté de "mettre à néant" ces développements.

Toutefois, cet élève, vers la fin du débat semble avoir évolué dans son positionnement. Considérant la vitesse des développements des nanotechnologies, il se demande s'il n'y aurait

pas intérêt à privilégier en priorité les travaux sur les “risques” des nanotechnologies pour ne favoriser qu’ensuite leur essor.

Enfin, l’un des élèves qui a étudié le cahier d’acteurs de la FEBEA, aux tous derniers instants du débat, pointe l’importance que chacun se documente sur les nanotechnologies puisqu’elles vont toucher tout le monde.

7.2.2.6 Économie

Si les aspects liés à l’appropriation citoyenne des nanotechnologies et à leur mise en débat ont été peu discutés, les dimensions économiques et sociales de ces développements n’ont pas été non plus largement détaillées. Certes les “points positifs” ont été mentionnés dans la discussion et plusieurs élèves ont mis en avant les applications des nanotechnologies et les bénéfices que l’on pourrait en tirer. La question de l’ordre des priorités de recherche a aussi été évoquée. Mais hormis ces quelques aspects qui peuvent être reliés aux enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies, seule une intervention a traité de questions économiques dans la discussion.

214	Gestionnaire du débat	Sur ceux qui euh, le CFE-CGC, on a parlé de votre cahier d’acteurs. Vous avez voté pour qui et pourquoi ? Vous pouvez expliquer votre vote, vos votes.
215	Laurent (CFE-CGC)	Euh
216	Gestionnaire du débat	Allez-oui ouais.
217	Laurent (CFE-CGC)	Euh moi j’ai fait pour le CNRS-CEA et pour l’INRS. Euh ben parce que... j’ai pas voté pour mon cahier parce que il est trop axé sur l’économie, enfin sur tout ce qu’on peut en tirer euh, au niveau profit, mais pas assez sur euh, pas assez sur euh, pas assez sur l’Homme et sur ce que, une fois développé, ça apportera au... aux consommateurs
218	Gestionnaire du débat	Hunhun.
219	Laurent (CFE-CGC)	Et du coup, j’ai voté donc pour le CNRS, parce que je pense que c’est un progrès technique, mais que à la fois, il faut qu’il soit contrôlé et qu’on continue les recherches pour être euh, sûr que ce soit pas trop nocif.
220	Gestionnaire du débat	Sur le volet économique, tu dis donc que ça t’a paru un peu... parce qu’ils le développent beaucoup. Alors déjà, qu’est-ce qu’ils disent et pourquoi ça t’a paru un peu secondaire ?
221	Laurent (CFE-CGC)	Bah, ils parlent euh... Beaucoup parle de, du moyen de tirer profit des nanotechnologies ; de créer, d’aider des entreprises à se former, de leur accorder des aides euh ; que l’État rachète une partie de leur production et caetera... et euh c’est un peu trop d’un point de vue économique et pas assez humanitaire.

Une fois encore, l’élève estime que le contenu de son cahier d’acteurs ne souligne pas assez tout ce que les développements des nanotechnologies pourraient apporter, en particulier aux consommateurs. Il déplore que ce document traite trop d’économie. Il semble toutefois avoir bien saisi certains éléments mis en avant par la CFE-CGC. Ce syndicat discute en effet dans toute la première partie de son cahier d’acteurs des mesures à adopter pour tirer profit au mieux des nanotechnologies.

On lit par exemple :

> *"Une veille et une prospective performantes doivent être mises en place pour améliorer la pertinence des investissements en matière de recherche comme de production, dans les secteurs et les applications pour lesquels il y a un marché et pas trop de concurrents déjà engagés." (CFE-CGC)*

ou encore :

> *"Un Small Business Act français ou européen devrait accompagner les PME à tous les stades de leur développement pour les renforcer. Il est regrettable qu'en France, les PME soient stoppées dans leur développement pour des problèmes de trésorerie, ne leur permettant pas de financer leurs en-cours clients lorsque leurs commandes décollent.*
>
> *Nous estimons que pour faciliter l'innovation, l'Union européenne devrait encourager les Etats à décentraliser les aides aux PME au niveau régional ou local, là où les administrations peuvent constater l'impact de ces aides. Les Etats devraient également réserver une partie des commandes publiques aux PME à l'image de ce qui existe aux Etats-Unis." (CFE-CGC)*

Toutefois, nous n'avons pas repéré d'endroit dans le cahier d'acteurs de la CFE-CGC où ce syndicat préconiserait que l'État rachète une partie de la production des entreprises.

Finalement, cette intervention de l'élève de la CFE-CGC montre qu'il semble avoir bien saisi que ce syndicat souhaitait discuter des mesures économiques à mettre en place pour que la France soit armée pour participer à la compétition économique entourant les développements des nanotechnologies. Sur le détail des mesures proposées par la CFE-CGC, il s'écarte toutefois des propositions formulées par ce syndicat. Enfin, sa prise de parole souligne une fois encore l'importance que les élèves accordent à l'exposé des "points positifs" et des apports des nanotechnologies pour l'Homme ou pour les "consommateurs".

7.2.2.7 Des élèves qui estiment apprendre des choses

Comme le montre les interventions des élèves qui ont représenté la Fondation Sciences Citoyennes et la CFE-CGC, certains élèves soulèvent des critiques sur le contenu de leur cahier en regrettant que ces documents ne montrent pas suffisamment les réalisations bénéfiques que propose le développement des nanotechnologies. L'élève qui a représenté la CFE-CGC explique ainsi que les prises de positions du CNRS et du CEA lui semblaient mieux coller à ce qui lui paraissait important et qu'il a donc voté pour la proposition de ces organismes de recherche :

> *"Les nanotechnologies permettent des progrès techniques et humanitaires"*

D'autres élèves regardent aussi ce point de vue comme important. C'est notamment le cas de l'un des élèves qui a travaillé sur le cahier d'acteurs du CNRS et le CEA. Il met de plus en avant qu'il a apprécié le fait que ces organismes de recherches exposent quelques domaines d'applications des nanotechnologies ou encore d'autres de leurs actions comme celle de la création d'un comité d'éthique.

194	Gestionnaire du débat	Hunhun. Et toi tu as voté pour qui euh ?
195	Antoine (CNRS-CEA)	Euh pour le, la CFE-CGC
196	Gestionnaire du débat	Enfin pour quelle position ?
197	Antoine (CNRS-CEA)	Et puis le CNRS

198	Gestionnaire du débat	Tu peux nous expliquer pourquoi et puis, puisque tu as voté aussi pour le CNRS et le CEA, qu'est-ce que tu as pensé vraiment du contenu du cahier d'acteurs ?
199	Antoine (CNRS-CEA)	Bah le, le, le cahier était disons euh, assez... enfin ils parlent plutôt des recherches mais pas vraiment de... Ils prenaient pas vraiment position sur bah le pour ou le contre.
200	Gestionnaire du débat	Ouais ?
201	Antoine (CNRS-CEA)	Mais c'était euh... C'était intéressant.
202	Gestionnaire du débat	C'est-à-dire, c'était intéressant ? Ils expliquaient des choses euh ?
203	Antoine (CNRS-CEA)	Oui.
204	Gestionnaire du débat	En quoi c'était intéressant ?
205	Antoine (CNRS-CEA)	Ils expliquaient par exemple les domaines d'application des nanotechnologies
206	Gestionnaire du débat	Hun
207	Antoine (CNRS-CEA)	Et, un comité, un comité d'éthique qui avait été créé, enfin...

Cet intérêt pour l'apport d'information sur les réalisations ou les actions concrètes du CNRS et du CEA est également affirmé à peine quelques répliques plus loin par l'élève qui a représenté ces organismes de recherche au cours du jeu de rôle.

210	Gestionnaire du débat	Hun... Ok. Et euh les autres qui ont étudié le cahier d'acteurs du CNRS et du CEA vous, vous partagez le point de vue que c'était un cahier d'acteurs intéressant parce que ça fournissait des explications ou vous voulez en dire plus sur son contenu ?
211	Arnaud (CNRS-CEA)	Ouais ils disaient ce qu'ils faisaient et tout. C'est assez intéressant... On apprend des, des trucs sur leur fonction et voilà sur leurs agissements. (*Il hausse les épaules.*) Je trouve ça plutôt intéressant.

Cette importance accordée à l'apport d'informations permettant "d'apprendre des trucs", pour reprendre les termes d'Arnaud, se retrouve d'une certaine manière dans d'autres interventions. Ainsi, l'un des élèves qui a étudié le cahier d'acteurs de la FEBEA reproche à ce document de ne pas fournir suffisamment d'explications pour lui permettre de bien comprendre ce qui est en jeu et d'être trop focalisé sur les questions soulevées par l'utilisation du dioxyde de titane.

306	Gestionnaire du débat	Pareil. Donc pareil vous, à la FEBEA, je voudrais bien savoir ce que vous avez pensé du cahier d'acteurs. La FEBEA donc euh qu'est-ce qu'ils développent, vous pouvez nous dire brièvement ? Dans quoi ils utilisent des nanotechnologies ? Et qu'est-ce que vous avez pensé de leur cahier ?
307	Lilian (FEBEA)	Ben ils utilisent les nanotechnologies pour euh, pour la fabrication de leurs crèmes solaires et par rapport au cahier d'acteurs, on trouve, enfin on a trouvé qu'il manquait un peu de compréhension, qu'il était un peu trop... difficile à

307	Lilian (FEBEA)	comprendre, et qu'il fallait peut-être raj... mettre plus d'explications
308	Gestionnaire du débat	Hunhun
309	Lilian (FEBEA)	sur des termes par exemple...
310	Gestionnaire du débat	Donc ils étaient centrés les, les cosmétiques c'est çà ?
311	Lilian (FEBEA)	Ouais. Et ils sont trop centrés sur le dioxyde de titane. Et en fait, ils ont pas assez euh développé les autres thèmes abordés...

Plusieurs élèves manifestent enfin lors des quelques minutes de discussion libre qui ont refermé la séance, que cette activité de jeu de rôle leur a permis de découvrir ce que sont et à quoi servent les nanotechnologies.

339	Alice (AFT)	Ben personnellement, enfin, avant de venir, je savais pas exactement ce que c'était les nanotechnologies.
340	Gestionnaire du débat	Ouais et alors ?
341	Alice (AFT)	Bah là, ça m'a permis de comprendre un peu ce que ça faisait et ce que ça pouvait engendrer et tout çà.
342	Gestionnaire du débat	Ouais. Il y en a d'autres qui veulent intervenir ? Vous êtes d'accord avec çà euh ouais ? Sur les nanotechnologies, vous avez une idée un peu plus précise de ce que sont les nanotechnologies ? Ouais
343	Lilian (FEBEA)	Oui. Bah oui.
344	Gestionnaire du débat	Ouais ?
345	Lilian (FEBEA)	Bah si on sait pas de quoi ça parle. Enfin moi je savais pas à quoi ça, de quoi ça parlait avant de venir. Oui forcément j'ai une approche un peu plus
346	Gestionnaire du débat	Hunhun
347	Lilian (FEBEA)	poussée sur les nanotechnologies. Après, c'est pas une passion.
348	Gestionnaire du débat	Ouais. Qu'est-ce que, qu'est-ce que tu voulais dire ?
349	Antoine (CNRS-CEA)	Ben moi je pense qu'on en sait un plus sur à quoi ça sert mais on sait pas forcément plus comment ça marche.
350	Gestionnaire du débat	Comment ça marche ? Hun.
351	Antoine (CNRS-CEA)	Voilà, enfin j'ai pas trop
352	Gestionnaire du débat	Alors si vous deviez expliquer du coup, tu dis que tu sais un peu plus ce que sont que les nanotechnologies, toi aussi... Si vous deviez expliquer, je sais pas à quelqu'un, qu'est-ce que vous diriez ?
353	Alice (AFT)	Ben déjà savoir dans quels domaines c'est. Ben en gros j'avais vraiment pas vu tout ce que... ce que c'était quoi. Donc je sais que voilà, c'est pour l'amélioration de la médecine avec des voilà, je sais pas des petits appareils qui vont permettre euh, l'évolution.

Au moment de conclure l'activité, deux élèves mettent donc en avant que cette activité leur a permis d'avoir un premier aperçu de ce que sont les nanotechnologies et de ce à quoi elles servent.

Finalement il nous semble qu'au travers de cette discussion post-jeu de rôle, certains élèves manifestent l'envie de découvrir ce que sont les nanotechnologies et en particulier au travers des réalisations qu'elles proposent.

7.2.2.8 Une multiplicité de points de vue jugée déconcertante par certains élèves

Enfin, si plusieurs élèves ont tendance à se raccrocher à un raisonnement binaire opposant avantages des nanotechnologies et risques, deux élèves expliquent aussi à la fin de cette discussion qu'ils n'arrivent pas à se positionner vu la multiplicité des points de vue et des arguments qui leur a été présentée lors du jeu de rôle.

360	Gestionnaire du débat	Il y en a qui sont d'accord avec çà ? Il y en a qui sont pas d'accord ? Il y en a qui veulent rajouter des choses ? Ce que vous en avez pensé, est-ce que ça a suscité des questionnements que... Ouais ?
361	Maïwenn (INRS)	Mais en fait au final on ne sait quel point de vue on doit adopter. Enfin je trouve que c'est bien, on a abordé plein de points de vue mais on sait pas vraiment euh où se placer parce que tous les, tous les thèmes sont vrais enfin. Tout est bon et... enfin oui... tout est bon à prendre quoi.
362	Gestionnaire du débat	Hunhun. Donc toi tu arrives pas à te positionner.
363	Maïwenn (INRS)	Non. Je sais pas si on doit continuer ou abandonner ces euh...
364	Gestionnaire du débat	Hunhun.
365	Corentin (ANM)	En même temps c'est un...
365	Maïwenn (INRS)	En fait il faudrait qu'on pousse encore les recherches... Mais d'un côté si on les pousse encore, on va trouver des choses qui vont faire que peut-être que ça va engendrer sur l'environnement, sur l'humain ou justement sur la liberté. Enfin en gros c'est... beaucoup de questions quoi.
366	Lilian (FEBEA)	Il y avait tellement de points de vue différents que... et tellement d'arguments apportés
367	Gestionnaire du débat	*(Il y a un peu de bruit)* S'il vous plaît.
368	Lilian (FEBEA)	par euh, par toutes les associations et toutes les fondations que c'est difficile de se faire une idée assez précise sur ce qu'on en pense.

Une des élèves qui a étudié le cahier de l'INRS estime que le jeu de rôle lui a montré que le développement des nanotechnologies était porteur d'une charge de questionnement complexe. Elle cite les aspects environnementaux, les questions sur l'humain et sur la liberté et se déclare donc perplexe face au choix de continuer ou d'arrêter ces développements. Elle interroge alors ici le bien-fondé du développement des nanotechnologies en questionnant les productions issues des nanotechnologies et leurs effets.

Enfin, un des élèves qui étudié le cahier de la FEBEA fait écho à ce positionnement, en soulignant que la diversité des points de vue et des arguments rend délicat de définir où est-ce que lui se positionne.

La discussion s'est achevée sur cette note perplexe... C'est aussi ici que s'arrête notre examen thématique des interventions des élèves au cours de la discussion qui a conclu le jeu de rôle. Nous voudrions à présent revenir en détail sur l'argumentation que les élèves ont déployée au travers de ces échanges.

7.2.3 Analyse de l'argumentation des élèves

Comme pour le jeu de rôle, nous avons concentré notre analyse de l'argumentation sur les disputes où au moins un participant à la discussion [5] met en doute le point de vue exprimé par un élève.

Nous avons ainsi analysé l'argumentation déployée dans quatre passages de la discussion qui a suivi le jeu de rôle. L'un traite des "engagements" de l'Académie de Médecine et de l'Association Française Transhumaniste. Le deuxième dans l'ordre chronologique regroupe les échanges sur la prise de position de la Fondation Sciences Citoyennes. Enfin, nous avons passé à la loupe l'argumentation des élèves dans deux séries d'échanges qui portent sur les inégalités que pourraient engendrer l'augmentation des capacités humaines.

7.2.3.1 Discussion pour éclaircir les engagements de l'Académie de Médecine et des Transhumanistes

Le premier différend que des élèves essaient de résoudre par la discussion a lieu après que deux élèves aient déclaré qu'ils avaient voté pour les prises de positions de l'Association Française Transhumaniste et l'Académie de Médecine.

111	Corentin (ANM)	Euh, j'ai voté transhumanistes, parce que je pense que c'est un peu pareil que l'Académie de Médecine et que... euh... (*quelques rires*) euh je sais plus. En tout cas, j'ai voté transhumanistes parce que dans laquelle on voudrait limiter, on dit qu'il faut faire attention à la nanotechnologie et une partie qui dit quand même que il faut la faire évoluer.
112	Gestionnaire du débat	D'accord quelqu'un veut réagir ?
113	Alice (AFT)	Euh bah moi je pense comme lui. Enfin j'ai voté donc transhumanistes et Académie de Médecine parce que voilà, ils font la part des choses en fait. Moitié moitié. Évolution, mais quand même en faisant attention à l'Homme quoi. Enfin et à l'Humanité.
114	Gestionnaire du débat	Ouais, tu... Donc évolution, c'est... Qu'est-ce que tu entends par évolution ?
115	Alice (AFT)	Bah l'évolution des nanotechnologies.
116	Gestionnaire du débat	Hunhun.
117	Alice (AFT)	Donc je pense que c'est important et en même temps, ouais voilà, il faut faire attention quand même parce que ça peut-être dangereux
118	Gestionnaire du débat	Si il y en a qui veulent réagir là-dessus ou qui sont... qui *(Fabienne lève la main)* Ouais à côté, vous aviez levé la main.

5. Ce participant peut éventuellement être la gestionnaire de débat.

119	Fabienne (AFT)	Ouais moi je suis du même... J'suis du même accord que.
120	Gestionnaire du débat	Tu es du même avis qu'eux ?
121	Mélanie (AFT)	*(rire)* du même avis. *(Fabienne rit)*
122	Gestionnaire du débat	Ouais tu es d'accord avec eux ? Euh ouais tu avais levé la main ?
123	Stéphane (CNIL)	Ben moi je, j'entends qu'ils disent que, qu'ils font la part des choses entre évolution et... et sécurité mais... mais c'est quoi leurs engagements à ces deux associations ? Ils... ils disent qu'ils pensent que, ils disent pas ce qu'ils pensent, ils disent juste qu'ils font la part des choses. On n'a pas de notions concrètes pour l'Académie de Médecine et les transhumanistes.
124	Corentin (ANM)	*(Bas)* Mais si !
125	Gestionnaire de débat	Ouais vas-y répond si tu veux, répond, sur l'académie de médecine, et peut-être tu peux donner des précisions même sur le cahier d'acteurs.
126	Corentin (ANM)	Non, non.
127	Gestionnaire de débat	Vas-y, si, si réagit !
128	Corentin (ANM)	Non, non.
129	Alice (AFT)	Bah on n'a pas peut-être pas forcément tout dit, mais si, enfin... Ils font quand même attention quoi.
130	Stéphane (CNIL)	Attention à quoi ? Je sais pas c'est pas... C'est pas indiqué dans la phrase.
131	Alice (AFT)	Bah de pas aller trop vite.
132	Mélanie (AFT)	Ils disaient de pas aller trop vite.
133	Corentin (ANM)	La phrase, elle pouvait pas faire 40 mots non plus, hein.
134	Gestionnaire de débat	Alors peut-être oui, vous pouvez détailler. Qu'est ce que vous entendez par faire attention euh dans... ?
135	Alice (AFT)	Ben pas, pas permettre... Enfin qu'il y ait des limites quand même dans le, dans les modifications apportées à l'Humain et donc aux technologies, aux nanotechnologies, quoi, enfin...
136	Gestionnaire de débat	C'est çà qu'ils disent euh... dans le cahier euh ?
137	Mélanie (AFT)	Ils disent de garder la liberté des gens aussi.
138	Alice (AFT)	Ouais voilà, la liberté et tout et... Et qu'il faut pas aller trop vite et que même si l'évolution, ils la veulent, faut s'adapter aussi à la société quoi. Donc bon.
139	Gestionnaire de débat	Hum. Et oui, ça te satisfait ?
140	Stéphane (CNIL)	*(sans conviction)* Oui...

Confrontation Dans cette discussion Corentin, Alice et Fabienne commencent par énoncer un point de vue : il leur semble que les prises de position de l'association Française Transhumaniste et de l'Académie de Médecine sont les plus pertinentes. Quelques tours de paroles plus

tard, Stéphane met indirectement en doute cette assertion. À la réplique 123, il demande :

> *"C'est quoi leurs engagements à ces deux associations ?"*

Il ajoute également un peu plus tard :

> *"On n'a pas de notions concrètes pour l'académie de médecine et les transhumanistes."*

Il semble ainsi insinuer que les engagements de ces deux organisations sont, à ses yeux, insuffisants pour qu'on puisse considérer que leurs prises de positions soient les plus pertinentes. Stéphane va par ailleurs plus loin que simplement remettre en cause le point de vue défendu par Corentin, Alice et Fabienne. Il soutient également que l'Académie de Médecine et l'Association Française Transhumaniste ne donnent pas à voir suffisamment d'engagements concrets. La discussion s'engage en réaction à cette objection énoncée par Stéphane et qu'Alice et Mélanie vont contester.

Ouverture Après la confrontation, il s'ensuit une courte négociation où la gestionnaire invite les élèves à répondre à cette réaction de Stéphane. Corentin refuse de répondre. Il enfreint alors la règle de la discussion critique selon laquelle la partie qui a avancé un point de vue est obligée de le défendre si l'autre partie le lui demande.

Argumentation Avant l'intervention de Stéphane, les élèves avaient d'emblée argumenté leur point de vue, comme anticipant les éventuelles oppositions. Nous avons reconstitué l'argumentation d'Alice aux répliques 113 et 117 sur la figure 7.1.

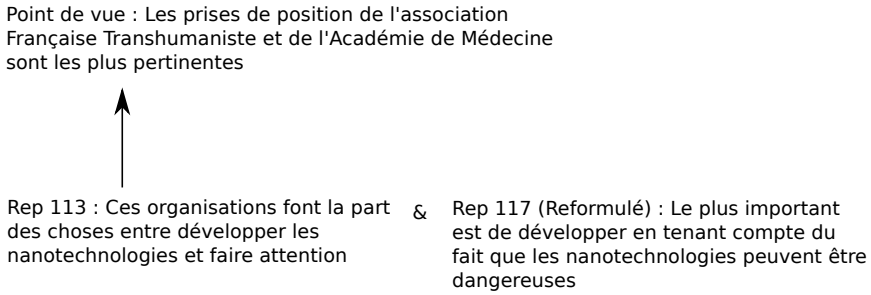


FIGURE 7.1 – Argumentation d'Alice

Cette première argumentation suit un schéma symptomatique. Cependant, elle ne convaint pas Stéphane qui attaque le point de vue pour une autre raison : il s'interroge sur les engagements de l'Association Française Transhumaniste et de l'Académie. Alice répond à cette objection au travers de l'argumentation symptomatique représentée sur la figure 7.2.

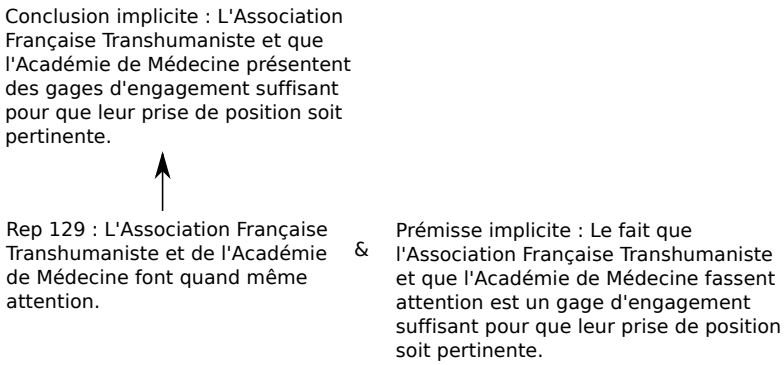


FIGURE 7.2 – Argumentation d'Alice en réponse à l'objection de Stéphane

Cette argumentation n'apporte en fait pas d'éléments nouveaux par rapport à celle présentée à la figure 7.1. L'explicitation de la prémisse implicite montre qu'Alice prend comme un point de départ accepté le fait que "faire attention" constituerait un engagement suffisant pour considérer les prises de position de l'Association Française Transhumaniste et de l'Académie de médecine comme pertinentes. C'est pourtant un élément que Stéphane remet en cause au travers de son objection. Il nous semble qu'Alice enfreint ici la règle de la discussion critique selon laquelle :

> *"Une partie ne doit pas présenter une prémisse comme un point de départ accepté alors que tel n'est pas le cas."*

D'ailleurs Stéphane n'accepte pas cette argumentation telle quelle. Il demande des précisions :

> *Attention à quoi ? Je sais pas c'est pas... C'est pas indiqué dans la phrase.*

Alice et Mélanie argumentent alors que l'Association Française Transhumaniste et l'Académie de Médecine font attention en utilisant une argumentation coordonnée représentée sur la figure 7.3.

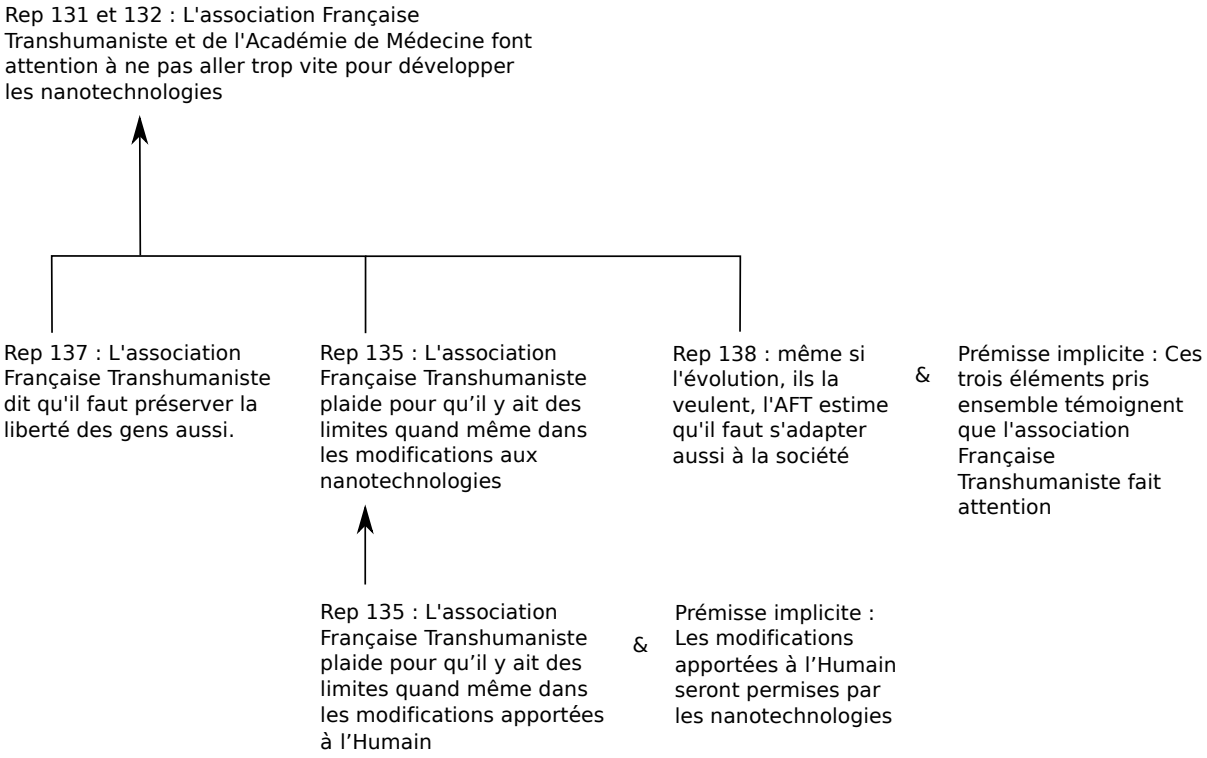


FIGURE 7.3 – Argumentation d'Alice en réponse à l'objection de Stéphane

La partie coordonnée de l'argumentation d'Alice suit un schéma symptomatique qui nous semble logiquement valide. On peut toutefois s'interroger. N'y a-t-il pas déplacement de la discussion : en explicitant des prises de position de l'AFT, Alice et Mélanie ne détaillent pas les engagements "concrets" de cette organisation comme le demandait Stéphane.

La discussion se termine cependant ici car Stéphane abandonne son point de vue, se déclarant convaincu par l'argumentation d'Alice et Mélanie.

7.2.3.2 Les prises de position de la Fondation Sciences Citoyennes jugées pas entièrement satisfaisantes

Juste après que Stéphane ait rétracté son point de vue, la gestionnaire de débat demande aux élèves ayant étudié le cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes d'expliquer

pourquoi elles n'ont pas voté pour les prises de position de cet acteur lors du vote. S'ensuit alors une nouvelle discussion argumentée.

144	Gestionnaire de débat	(...) Alors on va prendre le problème dans l'autre sens. Il y en a qui ont... pour la Fondation Sciences Citoyennes, recueilli zéros votes et en particulier vous avez pas voté pour votre cahier.
145	Elina ou Alicia (FSC)	Non...
146	Gestionnaire de débat	Euh, pourquoi ? Pourquoi vous avez pas voté... Qu'est-ce qui vous semble insuffisant ? Qu'est-ce que vous avez pensé du contenu du cahier pour lequel vous avez voté ?
147	Elina (FSC)	Bah, on trouve que la socié... enfin que la place de la société est importante mais... ça... Le cahier par... fait... il prend pas en compte tout ce qui important par rapport aux nanotechnologies, comme le font l'Académie de médecine ou les Transhumanistes.
148	Gestionnaire de débat	Hunhun...
149	Elina (FSC)	Qui font la part des choses
150	Gestionnaire de débat	Tu peux juste rappeler un peu le contenu du cahier, comment il est construit ? Nous donner des indications pour qu'on comprenne un peu mieux ce que vous vous avez lu euh... Allez-y allez-y... Ouais ?
151	Serena (FSC)	Disons qu'il parle beaucoup sur le, la société bah par rapport aux autres en fait. Que personne n'est vraiment au courant. Certes c'est vrai mais euh, d'un côté, ça permet beaucoup d'évolution des... où on en est maintenant. C'est vrai que la médecine et tout amènent beaucoup de choses dedans et c'est important, je pense... Aux progrès... Et c'est vrai que eux, ils sont plus pour ralentir euh, arrêter même. D'un côté, c'est vrai qu'il y a des risques mais... Je suis pas vraiment, été vraiment d'accord qu'une... qu'à moitié d'accord avec eux en fait.
152	Gestionnaire de débat	Tu es d'accord sur quoi et
153	Serena (FSC)	Que la moitié. Bah sur les risques, il faudrait peut-être faire plus sur les risques, c'est pour ça que j'ai voté sur les Amis de la Terre, parce qu'il y avait beaucoup de risques
154	Gestionnaire de débat	Hunhun
155	Serena (FSC)	Et qu'il faudrait y prendre part, ainsi que bah d'un côté euh, bah ils mettent pas trop en compte tout ce qui est, enfin... nano
156	Elina (FSC)	Nanomédecine
157	Serena (FSC)	Ouais, nanomédecine. Ouais tout ce qu'apporte çà...
158	Gestionnaire de débat	Ils font l'impasse là-dessus et toi...
159	Serena (FSC)	C'est trop... Ils sont trop négatifs. C'est pas assez ouvert et euh, positif.

160	Gestionnaire de débat	Hunhun. Les autres, vous êtes d'accord avec çà ? *(Alicia (FSC) fait oui de la tête)* Il y a d'autres choses que vous voulez rajouter même sur le contenu euh *(Alicia (FSC) fait non de la tête)* ? Non ? *(Elina et Alicia (FSC) rient)* *(À Corentin)* Ouais, tu voulais intervenir ?

Confrontation Dans cette discussion, le point de vue d'Elina et Serena est exprimé au travers de leur vote et peut être formulé ainsi : "le contenu du cahier de la Fondation Sciences Citoyennes présente des insuffisances". La sollicitation de la gestionnaire de débat sonne alors comme une mise en doute de ce point de vue.

Ouverture En donnant la parole aux élèves qui ont étudié le cahier de la Fondation Sciences Citoyennes, la gestionnaire de débat les invite dans la réplique 146 à défendre leur prise de position :

> *Pourquoi vous avez pas voté... Qu'est-ce qui vous semble insuffisant ? Qu'est-ce que vous avez pensé du contenu du cahier pour lequel vous avez voté ?*

Un certain nombre de points de départ acceptés sont explicités par Serena et Elina tout au long de la discussion.

> *"Bah, on trouve que la socié... enfin que la place de la société est importante" (Réplique 147)*
>
> *"Disons qu'il* [le cahier d'acteurs] *parle beaucoup sur le, la société bah par rapport aux autres en fait. Que personne n'est vraiment au courant. Certes c'est vrai" (Réplique 151)*

Argumentation Serena commence par défendre le point de vue selon le contenu du cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes n'est pas entièrement satisfaisant en utilisant une argumentation subordonnée représentée sur la figure 7.4.

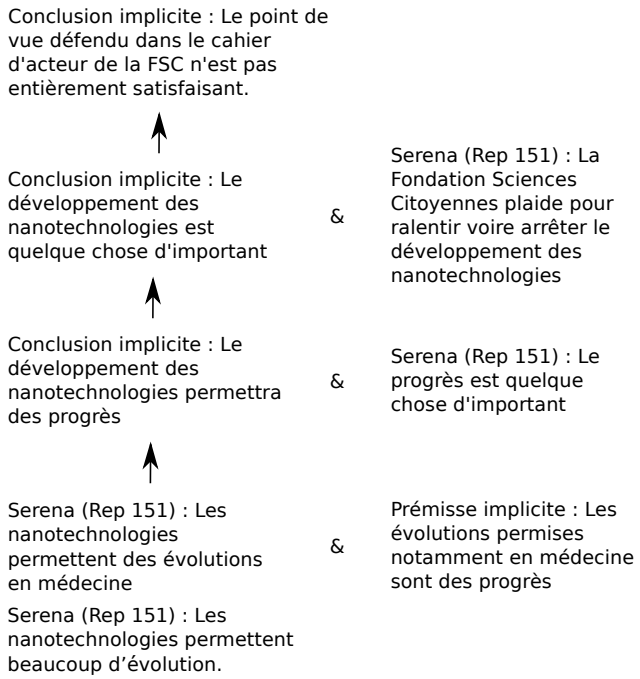


FIGURE 7.4 – Argumentation de Serena pour justifier le fait qu'elle n'ait pas voté pour la Fondation Sciences Citoyennes

Cette argumentation nous semble logiquement valide. Les deux premières étapes reposent sur un schéma symptomatique : Serena estime que les évolutions permises en médecine sont des progrès et que le "progrès" est quelque chose d'important [6]. Enfin la dernière étape de son argumentaire suit également un schéma symptomatique. Elle repose en effet sur une prémisse caractérisant le positionnement de la Fondation Sciences Citoyennes.

Suite à cette argumentation, la gestionnaire de débat ne demande pas plus d'explicitation. On peut estimer que la discussion est close et qu'elle retire son objection.

7.2.3.3 Discussion sur les inégalités entre pays engendrées par l'amélioration de l'humain

Un peu plus tard, une nouvelle discussion commence à propos des thèses transhumanistes.

235	Laurent (CFE-CGC)	Bah je suis pas sûr, mais j'ai l'impression que les transhumanistes, c'est plus euh rendre l'humain meilleur, enfin d'avancer et par la technologie. Du coup, ça peut mener à une société euh un peu inégalitaire parce que... Entre euh, enfin... Pour être pourvu de ces dons, de ces améliorations enfin forcément, il faut de l'argent. Du coup, ça peut créer entre différents pays qui sont avancés différemment encore plus d'inégalités.
236	Gestionnaire de débat	S'il vous plaît, est-ce que vous pouvez écouter aussi ce que disent les autres. Ouais vas-y.
237	Laurent (CFE-CGC)	Donc euh, je disais ouais comme différents, entre différents pays, ceux qui seront plus évolués technologiquement pourront avoir accès à.. Si on améliore l'Homme à des Hommes meilleurs, alors que ceux qui seront plus en retard ou moins riche pourront pas avoir accès à, à tout çà.
238	Gestionnaire de débat	Donc toi tu dis euh, c'est par rapport à l' "amélioration de l'Humain",
239	Laurent (CFE-CGC)	Ouais.
240	Gestionnaire de débat	Tu penses que ça peut créer des inégalités ?
241	Laurent (CFE-CGC)	Ouais.
242	Gestionnaire de débat	Ce, c'est... C'est çà que tu dis ?
243	Laurent (CFE-CGC)	Ouais.
244	Gestionnaire de débat	Euh ouais ? *(à Corentin qui lève la main)* Ouais, alors on va, on va prendre ton intervention. Ouais vas-y.
245	Corentin (ANM)	Moi je suis pas bien d'accord avec çà, parce que je pense que la nanotechnologie, ce sera utilisé pour soigner et non pour remettre euh l'Homme à une certaine échelle ou pour en, pour en mettre en valeur d'autres. Je pense que ce sera, ça servira qu'à soigner euh.

6. Ici l'identification du premier schéma peut toutefois être discutée. En effet le schéma argumentatif de la prémisse "les nanotechnologies permettent des évolutions en médecine" est causal. L'acceptabilité de cette prémisse repose donc sur l'acceptabilité de cette relation de causalité. Nous catégorisons néanmoins cette étape du raisonnement de Serena comme symptomatique, car le passage entre cette prémisse explicite et la conclusion nécessite l'utilisation d'un schéma symptomatique : les évolutions permises et notamment en médecine sont des progrès.

246	Gestionnaire de débat	Ouais ?
247	Laurent (CFE-CGC)	Bah si c'est dans le domaine de la médecine, c'est très bien, mais si c'est dans le domaine par exemple euh, enfin, il y a plein d'autres domaines qu'on pourrait appliquer à l'Homme dans le futur pour bah pour... je sais pas, n'importe quoi, augmenter les capacités physiques et caetera, et donc tout ce qui sera amélioration de l'Homme, si il y a qu'une partie qui en profite, bah ça sera... ça sera inégalitaire.
248	Gestionnaire de débat	Ouais. On peut juste reprendre par rapport aux transhumanistes
249	Alice (AFT)	Bah nous, ils disent euh que leur moral et leur éthique euh doit être guidée par les impératifs écologiques, sociaux et politiques. Donc voilà.
250	Gestionnaire de débat	Ouais... Ouais, ouais.
251	Alice (AFT)	Et que les nanotechnologies doivent être développées pour autant que leur emploi permet de renforcer les chances de perpétuation de la pensée humaine.
252	Gestionnaire de débat	D'accord,
253	Alice (AFT)	Donc c'est vraiment les libertés euh, voilà *(ses derniers mots sont inaudibles)*
254	Gestionnaire de débat	Et par contre, donc çà, c'est la citation du cahier. Par contre là donc euh... toi... Désolée, je connais pas les prénoms. *(Pb - il manque quelques secondes)* (...) de l'Humain et donc de... le fait que ça ne soit pas appliqué uniquement à la médecine, donc à vocation de soigner mais pour améliorer les capacités. Est-ce que il y a ça dans votre cahier euh ?
255	Alice (AFT)	Les capacités ben... Ouais enfin... Si c'est la médecine en fait, mais euh
256	Gestionnaire de débat	Est-ce que vous pouvez nous citer le passage éventuellement ?
257	Alice (AFT)	Ben... Ben, "nanomédecine, thérapies pratiquées par des nanorobots injectés dans l'organisme, médicaments délivrés par une nanocapsule euh avec pour conséquence possible un allongement encore important de l'espérance de vie." Euh, il y a aussi "les nanoimplants afin d'améliorer les capacités motrices, perceptives ou cognitives du corps et du cerveau, mais aussi des améliorations sur la nature, par exemple la création des matériaux
258	Gestionnaire de débat	Hunhun
259	Alice (AFT)	aux propriétés inédites".
260	Gestionnaire de débat	Donc par rapport à ce que tu disais, ça va quand même un peu dans le sens où tu disais quand tu parlais d'amélioration de l'Humain euh. *(A Corentin)* Ouais, tu voulais intervenir pardon ?

261	Corentin (ANM)	Ben moi je pense que à première vue, euh ça se développera déjà dans la médecine. On va sûrement découvrir que c'est bénéfique, que c'est bien, que ça nous met en meilleure forme, mais c'est sûr qu'après ça peut dériver et devenir euh..

Confrontation Dans cette discussion, Laurent joue le rôle de proposant et expose son point de vue au tour de parole 235 : l'amélioration de l'humain peut mener à une société inégalitaire. Ce point de vue est mis en doute par Corentin à la réplique 245.

> *"Moi je suis pas bien d'accord avec çà"*

Il propose de plus un autre point de vue :

> *"je pense que la nanotechnologie, ce sera utilisé pour soigner et non pour remettre euh l'Homme à une certaine échelle ou pour en, pour en mettre en valeur d'autres. Je pense que ce sera, ça servira qu'à soigner euh."*

La dispute est donc mixte.

Ouverture Suite à l'expression de ce désaccord, Laurent explicite un point de départ qu'il accepte :

> *"On pourrait appliquer les nanotechnologies à l'Homme pour la médecine"*

Au tour de parole 248, la gestionnaire de débat sollicite également les élèves qui ont travaillé sur le cahier d'acteurs de l'association Française Transhumaniste pour qu'elles explicitent ce que dit cette association sur le thème de l'amélioration de l'humain et fournir des points de départ pour la discussion.

Alice ouvre alors une sous-discussion où elle défend le point de vue que l'Association Française Transhumaniste traite des questions de libertés (tour de parole 253). L'argumentation qu'elle propose pour soutenir cela est présentée à la figure 7.5.

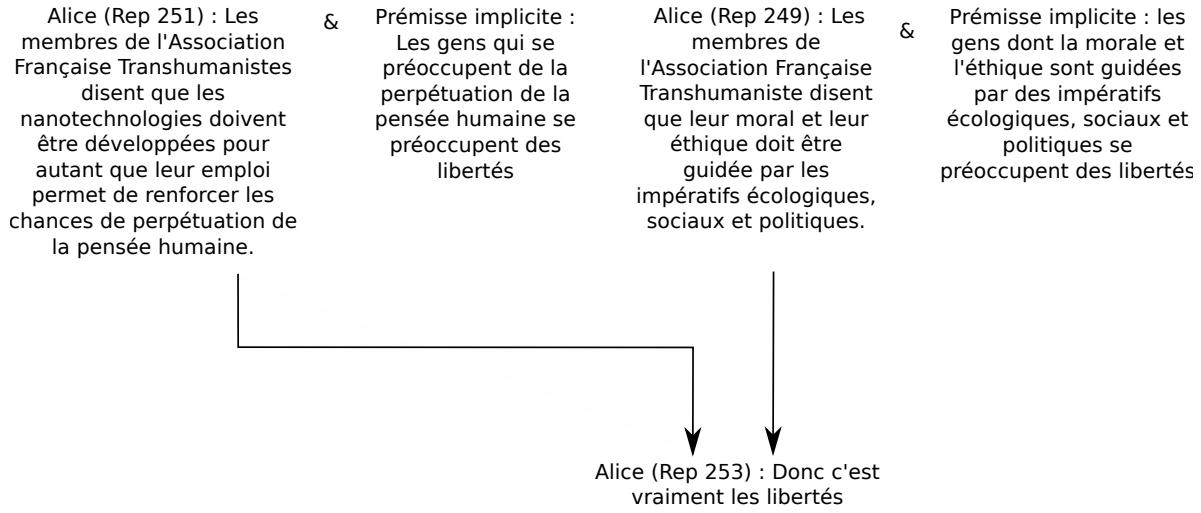


FIGURE *7.5 – Argumentation d'Alice lorsqu'elle explicite ce dont traite le cahier de l'AFT*

Suivant cette reconstruction, on voit qu'elle utilise une argumentation multiple et pour chaque argument que le schéma argumentatif employé est symptomatique. L'explicitation des prémisses implicites montre que l'utilisation de tels schémas ici est incorrecte. Selon nous, rien ne permet d'affirmer que "les gens qui se préoccupent de la perpétuation de la pensée humaine

se préoccupent des libertés". Par conséquent l'élève enfreint ici la règle de la discussion critique selon laquelle *"Une partie ne doit pas considérer qu'un point de vue a été défendu de façon concluante si cette défense n'a pas été menée selon un schéma argumentatif adéquat et correctement appliqué".*

Cette intervention est par ailleurs un peu déconnectée du reste de la discussion. En ce sens, il nous semble qu'Alice enfreint la règle de la discussion critique suivant laquelle *"les parties ne doivent pas utiliser des formulations insuffisamment claires ou d'une obscurité susceptible d'engendrer la confusion"*[7]. La gestionnaire de débat relance alors cette élève pour qu'elle précise ce qui est indiqué à propos d'amélioration de l'humain dans le cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste. Elle cite un extrait où il est question de développer des nanoimplants afin d'améliorer les capacités motrices, perceptives ou cognitives du corps et du cerveau.

Argumentation Pour étayer son point de vue, Laurent propose d'emblée une argumentation avant même que Corentin ne le remette en cause. Elle est présentée sur le schéma 7.6.

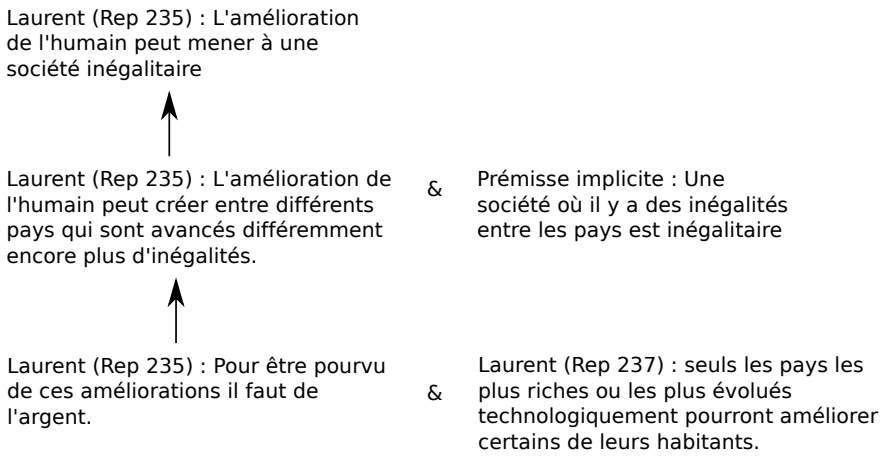


FIGURE 7.6 – Argumentation développée par Laurent

Le premier étage de cette argumentation subordonnée suit un schéma causal : Le fait qu'il faille disposer d'argent pour bénéficier "d'améliorations" a pour conséquence que seuls les pays les plus riches ou les plus évolués technologiquement pourront améliorer certains de leurs habitants.

La seconde étape repose sur un schéma symptomatique : Une société où il y a des inégalités entre pays a pour caractéristique d'être inégalitaire.

Cette argumentation n'est pas remise en cause par Corentin. Une fois explicité le contenu du cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste, il semble laisser de côté son désaccord avec Laurent. Cette discussion prend donc fin.

7.2.3.4 Discussion sur les inégalités entre individus engendrées par l'amélioration de l'humain

Une autre dispute s'ouvre juste après celle opposant Laurent et Corentin, toujours à propos de l'amélioration de l'humain.

7. Ici, Alice est toutefois un peu extérieure à la discussion. Son intervention est cependant un détour qui ajoute de la confusion à la discussion.

263	Marine (AdlT)	Mais euh, même sur la médecine, ils disent euh, qu'il peut y avoir des inégalités euh sociales parce que ils disent que *(lisant son cahier d'acteurs)* les recherches pour l'augmentation des capacités humaines, comme la réponse aux maladies et aux handicaps euh ça fait craindre une dérive vers une société où une minorité serait améliorée et l'autre pas.
264	Gestionnaire de débat	Ça c'est ce que disent les Amis de la Terre ?
265	Marine (AdlT)	Oui.
266	Gestionnaire de débat	Et toi tu en penses quoi ?
267	Marine (AdlT)	Bah que c'est vrai quand même parce que s'il y a un, un handicapé euh, peut avoir des nanotechnologies pour l'être un peu moins quoi, il faut qu'il ait de l'argent, il y a que les plus riches quoi, parce que ça va coûter cher, donc il y a que les plus riches qui pourront se l'offrir.
268	Gestionnaire de débat	Hunhun. Ok. Les autres vous êtes d'accord là, qui ont aussi, qui avez aussi étudié le cahier d'acteurs des Amis de la Terre ? Vous en pensez quoi ? Vous avez des... une opinion ? Vous êtes d'accord là dessus ?
269	Miriam (AdlT)	Ce serait pas forcément juste. Il faut que ça soit... Après, il peut y avoir du profit parce que ceux qui ont de l'argent ils peuvent avoir... comme tout quoi.
270	Gestionnaire de débat	Hun. Ouais ? Euh là
271	Alice (AFT)	Bah ouais je suis peut-être d'accord, mais, enfin, il y a des inégalités partout. Il suffit de dire... Parce que ils entendent quoi par inégalités ? Ça profitera à d'autres, enfin après...
272	Gestionnaire de débat	Alors juste *(aux filles qui ont travaillé sur le cahier de l'INRS),* ouais les filles vous voulez intervenir là-dessus ?
273	Maïwenn (INRS)	On va pas en créer plus justement. S'il y en a déjà, il faut essayer de les résoudre, on va pas encore en créer. *(Quelques rires et plusieurs élèves commencent à parler à leur voisins)*
274	Gestionnaire de débat	S'il vous plaît, levez la main pour parler. *(à Alexandra)* Tu voulais répondre ?
275	Alice (AFT)	Bah oui. Si ça améliore certains, pourquoi pas. Enfin, on ne va pas... On va pas laisser tout le monde, dans le monde, enfin dans le... dans le pas bien quoi, parce qu'il y a des inégalités. Enfin voilà. C'est sûr qu'après, s'ils développent pas, peut-être qu'après, tellement que ce sera développé, ça deviendra moins chez parce qu'il y en aura plus et... voilà. Je sais pas.

Confrontation Dans cette discussion, Maïwenn, Miriam et Marine soutiennent le point de vue selon lequel il n'est peut-être pas souhaitable de développer certaines applications des nanotechnologies pour améliorer les capacités humaines. Cette prise de position qui demeure implicite est remise en cause par Alice à la réplique 271.

L'étape d'ouverture de cette discussion reste par ailleurs également implicite.

Argumentation D'entrée de jeu, Marine et Miriam argumentent à deux voix ce point de vue. L'argumentation subordonnée qu'elles utilisent a été reconstituée sur la figure 7.7.

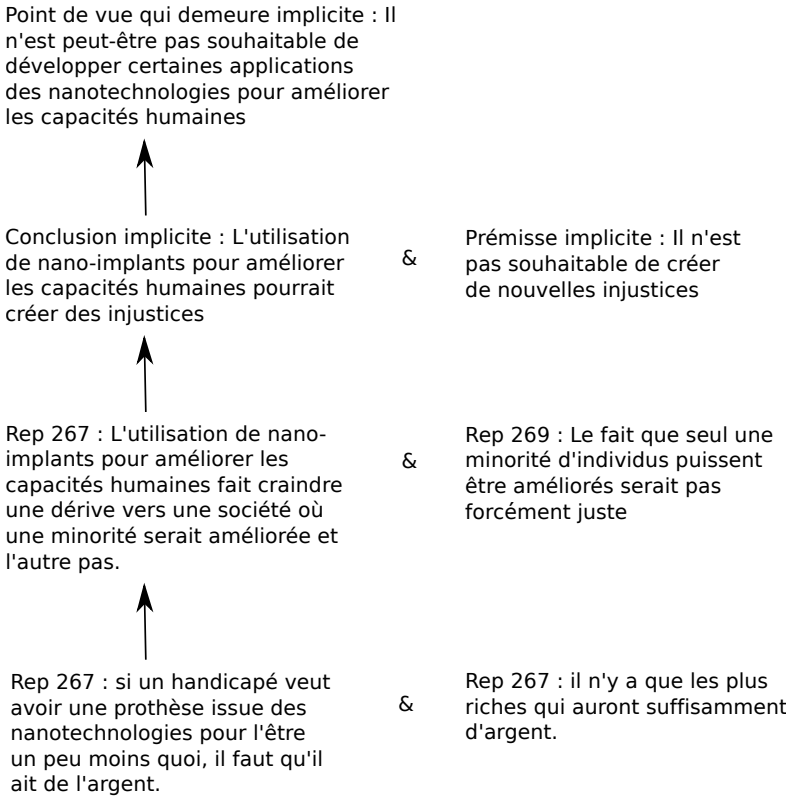


FIGURE 7.7 – Argumentation de Marine et Miriam sur les inégalités que pourraient engendrer les développements pour "l'amélioration de l'humain"

Le premier étage de cette argumentation suit un schéma symptomatique : il est caractéristique des riches d'avoir suffisamment d'argent et des pauvres d'en manquer pour bénéficier d'une prothèse issue des nanotechnologies ;

Le second et le dernier étage suivent également ce type de schéma.

Son argumentation nous semble correcte, si l'on partage ses jugements sur ce qui est juste et souhaitable. La dernière prémisse implicite de son argumentation selon laquelle "il n'est pas souhaitable de créer de nouvelles injustices" est justement remise en cause par Alice.

Elle objecte qu'il y a des inégalités partout.

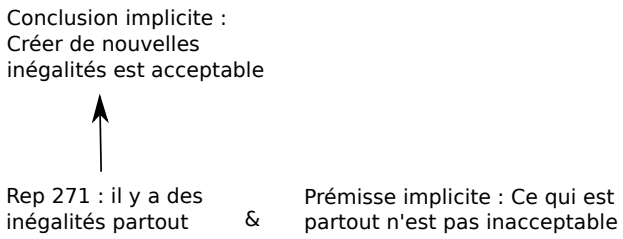


FIGURE 7.8 – Objection d'Alice

L'explicitation de la prémisse implicite de son raisonnement (comme sur la figure 7.8) laisse entendre que les inégalités que créeront peut-être les utilisations des nanotechnologies sont de ce fait acceptables. Ce schéma argumentatif symptomatique nous semble discutable

et nous paraît s'apparenter à un sophisme populiste. En ce sens il y a violation de la règle de la discussion selon laquelle une partie ne doit pas considérer qu'un point de vue a été défendu de façon concluante si cette défense n'a pas été menée selon un schéma argumentatif adéquat.

Cette réaction suscite une intervention de Mélanie. Au tour de parole 273, elle déclare :

> *"On va pas en créer plus justement. S'il y en a déjà, il faut essayer de les résoudre, on va pas encore en créer."*

Le désaccord entre les élèves nous semble ainsi être un désaccord de fond entre ce qu'elles considèrent chacune acceptable ou non. Alice essaie alors de montrer la thèse opposée à celle de Miriam, Marine et Mélanie, à savoir qu'il est peut-être souhaitable de développer les nanotechnologies pour améliorer l'humain. Son argumentation est présentée sur la figure 7.9.

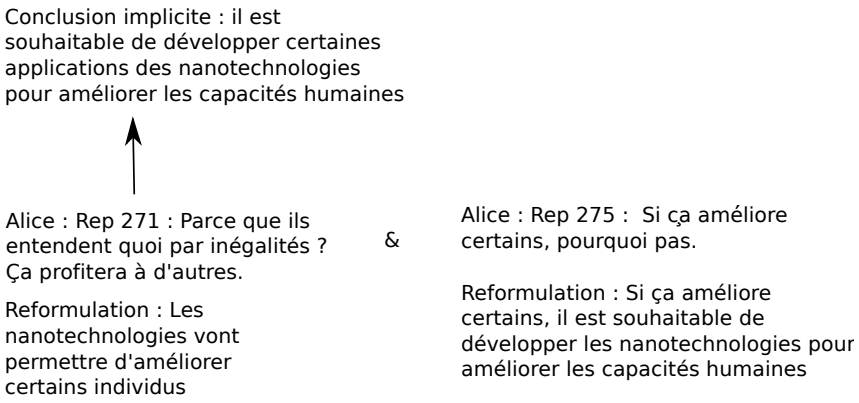


FIGURE 7.9 – Argumentation d'Alice

Enfin elle conclut son intervention en remettant en cause de manière argumentée une prémisse de l'argumentation de Marine et Miriam, selon laquelle seuls les plus riches pourront avoir accès aux prothèses permettant d'améliorer leurs capacités (voir figure 7.10). L'argumentation causale qu'elle utilise ici nous semble valide.

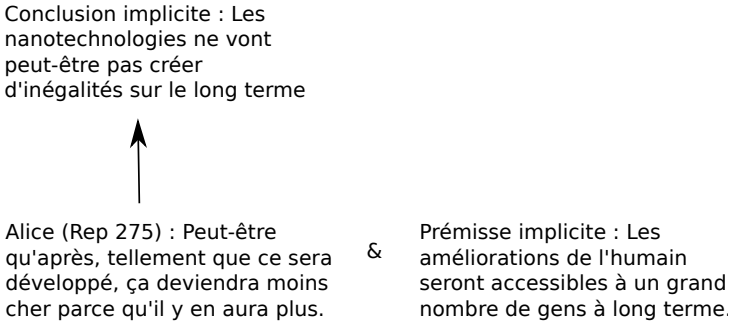


FIGURE 7.10 – Objection d'Alice à la prémisse sur l'accès des seules personnes aisées aux améliorations des capacités humaines

Conclusion Finalement la discussion s'arrête ici. Elle demeure irrésolue, Alice concluant son intervention par une touche indécise :

> *"Je sais pas."*

et Marine, Miriam et Maïwenn n'indiquant rien qui laisse entendre qu'elles abandonnent leur point de vue.

7.2.4 Discussion

Nous allons à présent discuter le contenu de ces échanges. La question qui nous occupe et à laquelle l'étude de toutes ces discussions doit nous aider à répondre est la suivante :

> Comment les élèves comprennent et mettent à distance les discours tenus par différents acteurs sur les développements des nanotechnologies ?

L'examen du contenu des interventions des élèves permet de dégager au moins trois axes de réponse à cette question.

D'abord, les différentes répliques des élèves dans la discussion montrent qu'ils arrivent à se saisir d'abord des questionnements portant sur les productions et domaines d'utilisation des nanotechnologies avant celles portant sur la manière dont les nanotechnologies sont développées en société.

Ensuite, la manière dont les élèves s'emparent et discutent des interrogations engendrées par les multiples productions des nanotechnologies, varie suivant les thématiques de questionnement. Les interventions des élèves dans cette discussion montrent que les élèves s'accordent assez volontiers sur l'importance des questions sanitaires et environnementales, même si la discussion sur ces aspects est restée très générale ; les questions des libertés semblent aussi préoccuper plusieurs élèves même si elles ne sont vraiment discutées que par l'un des élèves ayant étudié le cahier de la CNIL ; enfin les questions d'améliorations de l'humain ont aussi été discutées par plusieurs élèves. Cette thématique est d'ailleurs l'une des rares sur lesquelles sont apparues des divergences de point de vue.

Enfin, le discours des élèves donne parfois l'impression qu'une des grilles de lecture qu'ils ont tendance à appliquer spontanément aux discours pour dégager une intelligibilité dans les débats, est une grille binaire distinguant bénéfices et risques.

7.2.4.1 Une propension à discuter d'abord des réalisations et des effets des nanotechnologies

Comment les élèves comprennent et mettent à distance les différents discours portés par les nanotechnologies ?

Il nous semble que les questionnements dont les élèves s'emparent le plus facilement sont ceux qui touchent directement aux réalisations imputées aux développements des nanotechnologies. Les interrogations relatives à l'appropriation citoyenne des choix scientifiques et technologiques ou aux enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies sont en quelque sorte passées au second plan dans cette discussion qui a suivi le jeu de rôle.

Deux éléments nous semblent plaider en ce sens.

D'abord comme nous l'avons rappelé, les élèves qui ont étudié le cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes trouvent que ce cahier de montre pas assez *"le positif des faits"*. Ainsi, bien qu'elles estiment que *"la place de la société"* est une question importante et bien que, comme le montre l'intervention de l'élève qui a représenté cette organisation, elles semblent avoir assez bien saisi quelles étaient les prises de position de cette association, elles soulignent qu'elles auraient aimé un discours plus informatif.

C'est aussi ce genre de réflexion qui transparaît d'une certaine manière dans les propos de l'élève qui a représenté la CFE-CGC lors du jeu de rôle. Lui, trouve que le document qu'il a étudié est *" trop axé sur l'économie, enfin sur tout ce qu'on peut en tirer euh, au niveau profit, mais pas assez sur euh, pas assez sur l'Homme et sur ce que, une fois développé, ça apportera au... aux consommateurs"*.

Ces élèves semblent donc attacher plus d'importance, lors de cette première approche des débats soulevés par les nanotechnologies, aux questionnements du type de "ce que ça va apporter" qu'à ces thèmes de débats interrogeant les conditions de ces développements.

Ce constat peut d'ailleurs être mis en regard avec les interventions des élèves qui ont étudié le cahier d'acteurs du CNRS et du CEA. Ceux-ci manifestent leur intérêt pour ce document en expliquant qu'il leur a fourni des informations sur les réalisations ou les actions concrètes de ces organismes de recherches. Ainsi, certains élèves semblent demandeurs de contenus, d'explications sur ce que sont les nanotechnologies. À ce propos, l'élève qui a représenté l'Association Française Transhumaniste déclare, lors des quelques minutes de discussion libre concluant la séance, que l'activité lui a permis de comprendre un peu "ce qu'étaient les nanotechnologies" et "ce que ça pouvait engendrer".

Il nous semble donc que, lors de ce premier contact avec les questionnements soulevés par les nanotechnologies, les interrogations auxquelles les élèves se montrent les plus sensibles sont celles qui touchent aux réalisations issues des nanotechnologies et aux effets qu'elles peuvent avoir.

Si les élèves s'emparent d'abord des questionnements interrogeant certaines productions et certains effets tangibles des nanotechnologies, on peut toutefois se demander ici si, vers la fin du débat, certains élèves ne commencent pas à se saisir également des interrogations portant sur la manière dont sont développées les nanotechnologies.

Ainsi, L'élève qui a représenté l'Académie de Médecine, qui au départ exprimait sa perplexité face au discours de la Fondation Sciences Citoyennes, considère vers la fin des échanges "une autre façon de voir les choses". Il parle d'emballement du rythme de notre "évolution" et évoque un sentiment de peur. Il commence alors à discuter de priorités de recherches. Il suggère ainsi qu'il faudrait d'abord développer les travaux en toxicologie, afin de connaître les effets possibles des nanotechnologies sur l'Homme puis, ensuite seulement, développer les nanotechnologies.

La difficulté à s'emparer des questionnements sur la manière dont les nanotechnologies sont développées en société est donc peut-être due à la nouveauté de tous ces objets de discussion. Confrontés à des discours sur des objets qui leur étaient totalement étrangers, les élèves ne saisissent pas tout de suite la pertinence d'interroger les choix de société sous-tendant les développements des nanotechnologies et se montrent plus volontiers enclins à examiner d'abord les productions permises ou promises par ces technosciences.

Enfin, cette difficulté se double peut-être d'un autre obstacle : il n'est pas sûr que les élèves soient outillés par exemple pour discuter d'économie. C'est ce que suggère la manière dont l'élève qui a représenté la CFE-CGC relate le contenu de son cahier d'acteurs. Il raconte que ce syndicat propose que l'État rachète une partie de la production des entreprises travaillant dans le secteur des nanotechnologies alors que cette préconisation ne figure pas dans ce document. De même, lors du jeu de rôle, nous avions aussi relevé que l'élève qui représentait les Amis de la Terre, avait été déstabilisée lorsque la gestionnaire de débat lui a demandé d'expliciter ce qu'elle entendait par "propriété intellectuelle".

7.2.4.2 Comment les élèves s'emparent-ils des différents questionnements interrogeant les productions des nanotechnologies et leurs effets ?

Questions sanitaires et environnementales Si les interrogations liées à la manière dont les citoyens peuvent s'approprier les développements des nanotechnologies et celles touchant aux interactions entre développements des nanotechnologies semblent être considérées comme secondaires par plusieurs élèves, une grande partie de la classe souligne en revanche l'importance que revêt pour eux les problèmes pour la santé et l'environnement.

Cette insistance est marquée en des termes qui demeurent toutefois très généraux. Il s'agit de prendre en compte ces problèmes. Et c'est tout. Peu, voire aucun détail supplémentaire n'est apporté pour préciser la nature des questionnements posés. Les mots de nanoparticules ou de nanomatériaux ne sont d'ailleurs même pas prononcés. Certains élèves avancent tout

de même quelques pistes de régulation, même si elles restent aussi assez vagues. Trois élèves ont mentionné l'importance de la protection des travailleurs. Quelques autres ont évoqué l'imposition d'un moratoire. D'autres encore celle de l'information des gens. Mais à nouveau, les élèves ne sont pas rentrés dans le détail.

Il nous semble ici éclairant de mettre en regard ces résultats d'analyse avec ceux du jeu de rôle.

L'examen des échanges lors du jeu de rôle a en effet montré que les enjeux sanitaires et environnementaux de l'utilisation des nanoparticules et des nanomatériaux ont bien été identifiés par les élèves. Par ailleurs, notre analyse du jeu de rôle a aussi mis en évidence que les questions de protection des travailleurs et de prévention des expositions avaient été seulement esquissées par l'élève représentant la CFE-CGC. Les problèmes de protection des consommateurs avaient été également très timidement évoqués. La seule référence qui y a été faite, avait eu lieu lorsque l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes a souligné la présence déjà objective de nano-produits dans notre quotidien. Enfin nous avions aussi noté que la demande de mise en place d'une réglementation avait été citée, mais en restant à un grand niveau de généralité.

L'analyse de la discussion post-jeu de rôle, nous semble donc confirmer que les élèves ont bien identifié l'existence de questionnements liés à la toxicité possible des nanoparticules pour l'Homme ou l'environnement. Par ailleurs, on peut dresser un parallèle entre le niveau de généralité du discours des élèves-acteurs lorsqu'ils parlent de régulation des utilisations des nanoparticules et celui des propos des élèves, lors de la discussion qui a suivi le jeu de rôle, qui affirment seulement souvent la nécessité de "prendre en compte les risques".

Protection des libertés Le thème de la protection des libertés a lui donné lieu des développements un peu plus circonstanciés de la part de l'élève qui a représenté la CNIL au cours du jeu de rôle. Cet élève indique lors de la discussion post-jeu de rôle, que l'usage de puces électroniques peut porter atteinte à "la personnalité des gens" et qu'il faut donc prendre ces problèmes à bras le corps de toute urgence. Il se déclare aussi en accord avec les prises de position de l'autorité indépendante dont il a joué le rôle. Enfin, soutenant des points de vue qui ne figuraient pas dans le cahier de la CNIL, il affirme également que ces développements sont le résultat d'un projet de longue date et ayant bénéficié de beaucoup de financements. Si cette supposition montre que l'élève arrive à se détacher du document qu'il a étudié pour aller plus loin, nous ne parlerons pas ici de mise à distance critique car il présente seulement une interprétation personnelle sans proposer d'éléments précis pour l'argumenter.

Par ailleurs, vu la teneur des interventions de cet élève, on ne peut pas affirmer que les préoccupations liées à la protection des libertés n'auraient retenu l'attention de personne dans la classe. Cependant, alors que les questions sanitaires et environnementales provoquent des réactions de la part d'un grand nombre d'élèves, les préoccupations touchant aux libertés ne sont mentionnées que par quelques uns.

Ainsi, seuls trois élèves ont, lors du vote, exprimé que les positions défendues par la CNIL (telles que les avaient retranscrites le groupe étudiant ce cahier d'acteurs) leur paraissaient être parmi les plus importantes de ces débats.

Les deux élèves qui ont aussi étudié le cahier d'acteurs de la CNIL, ont approuvé de manière laconique le discours de celui qui les a représenté au cours du jeu de rôle.

Enfin, une des élèves qui a analysé le cahier de l'INRS, a fait pour sa part référence, dans les dernières minutes de la discussion, à "ce que ça va engendrer sur la liberté".

Le mot de liberté s'est par ailleurs retrouvé dans la bouche des élèves qui ont étudié le cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste. Ces élèves estiment en effet que les auteurs de ce document *"disent qu'il faut garder la liberté des gens"*. Il nous semble cependant que le point de vue que défend l'AFT n'est pas exactement lié aux questions de

traçage des individus. Selon nous, lorsque l'AFT parle de liberté, elle se réfère à la liberté de chaque individu à disposer de son corps pour éventuellement l'améliorer. Cette confusion sur la portée que ces élèves attribuent au terme de liberté, se retrouve dans le débat au moment où la discussion porte sur les questions d'amélioration de l'humain.

Utilisations en médecine des nanotechnologies Ce thème est discuté par plusieurs élèves qui, comme nous l'avons indiqué, ne partagent pas tous les mêmes opinions. Quatre élèves ont en effet mis en doute lors du débat le fait que le développement d'utilisations des nanotechnologies pour améliorer les capacités de l'humain serait souhaitable.

D'abord, l'élève qui a représenté la CFE-CGC lors du jeu de rôle, a suggéré que ces développements pourraient être à l'origine d'un accroissement des inégalités entre pays. Cet argument ne figure pas dans son cahier d'acteurs et n'avait pas non plus été proposé au cours du jeu de rôle. Le scepticisme argumenté de cet élève nous semble ici être un indice de mise à distance critique des discours qu'il a entendu lors du jeu de rôle.

Deux des élèves ayant travaillé sur le cahier d'acteurs des Amis de la Terre ont, elles, mis en avant le risque d'un creusement des inégalités entre les individus, notamment entre personnes handicapées, qui ne pourront bénéficier de ces utilisations des nanotechnologies que si leur situation financière le permet.

Enfin, une des élèves ayant étudié la contribution de l'INRS affirme également qu'il serait peut-être pertinent de travailler à combattre les inégalités existantes plutôt que d'en créer de nouvelles.

L'analyse des échanges post-jeu de rôle montre aussi que l'élève qui a représenté l'Académie de Médecine lors du jeu de rôle, semble dans un premier temps refuser d'envisager que les nanotechnologies puissent être utilisées pour améliorer les performances humaines. C'était pourtant ce même élève qui prononçait le mot d'eugénisme lors du jeu de rôle.

Toutefois, un peu plus loin dans la discussion, cet élève semble réviser sa position après qu'une élève ayant étudié le cahier de l'Association Française Transhumaniste ait cité le passage de ce document traitant des utilisations des nanotechnologies pour améliorer les capacités de l'être humain. Cette prise en compte d'éléments nouveaux pour revoir son jugement, nous semble pouvoir aussi être considérée comme un indice de prise de distance de l'élève, grâce à la discussion contradictoire, par rapport à l'une de ses idées sur les nanotechnologies.

En outre, l'analyse des discussions qui ont suivi le jeu de rôle met aussi en évidence que les élèves qui ont étudié le cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste, interprètent par moment le contenu de leur cahier en s'écartant de ce que cette association écrit. D'abord, l'élève qui a représenté cette association dans le jeu de rôle estime que l'AFT s'intéresse aux libertés en s'appuyant sur un passage du cahier d'acteurs où cette association n'en dit rien. La référence à une prise de position de l'Association Française Transhumaniste sur la protection des libertés dans la discussion finale fait par ailleurs écho à un passage du jeu de rôle. L'élève-actrice portant les couleurs de cette association y avait en effet déclaré que l'organisation qu'elle représentait, souhaitait préserver les libertés même si elle prônait le développement des nanotechnologies.

Ensuite ces élèves ayant étudié le cahier de l'Association Française Transhumaniste laissent entendre dans la discussion post jeu de rôle, que cette organisation souhaite aussi poser des limites aux modifications de l'humain.

On peut donc s'interroger : ont-elles compris quelles étaient, à ces endroits, les prises de position de cette association ? Ou bien les élèves ont-elles extrapolé à partir du contenu du document pour qu'il cadre mieux avec leurs points de vue personnels, sans toutefois oser remettre en cause ce qui y était écrit ?

Nous avons en effet noté qu'aucun groupe d'élèves n'avait affirmé, dans leurs fiches rem-

plies après le jeu de rôle, de désaccord de fond avec le cahier d'acteurs qu'ils avaient étudié. Ceci est peut-être la traduction d'une réelle adhésion aux points de vue présentés dans ces documents. Toutefois, nous ne pouvons écarter la possibilité d'une difficulté à remettre en cause un argumentaire écrit fourni dans un cadre scolaire à des fins d'étude.

Enfin, si plusieurs élèves sont intervenus en prenant des positions divergentes sur les questions d'amélioration des capacités humaines, - ce qui n'avait pas vraiment été le cas sur les autres thématiques - , cette discussion c'est aussi distinguée par l'apparition de plusieurs sophismes ou paralogismes dans les propos d'une des élèves. C'est ici l'un des seuls thèmes du débat où l'argumentation des élèves a donné lieu à l'utilisation d'argumentations fallacieuses [8].

7.2.4.3 Une grille d'analyse binaire

La dernière chose qui ressort de cet examen des discussions qui ont suivi le jeu de rôle, c'est la tendance de plusieurs élèves à poser le débat en terme binaires, en opposant bénéfices et risques dans leurs écrits ou leurs interventions.

Ainsi, l'élève qui a représenté l'Académie de Médecine estime que la Fondation Sciences Citoyennes "veut réduire à néant" les nanotechnologies parce que ce cahier ne présente pas "les points positifs" des nanotechnologies. Les élèves ayant étudié ce document regrettent d'ailleurs qu'il n'énumère pas les avantages des développements des nanotechnologies. Les élèves ont aussi été nombreux à afficher qu'il leur semblait souhaitable de développer les nanotechnologies étant donné les nombreuses avancées technologiques à la clé, tout en contrebalançant cette prise de position en soulignant l'importance de poser des limites pour tenir compte des risques.

Cette dichotomie entre avantages et inconvénients, qui se double d'une injonction à prendre en compte la sécurité de l'homme en posant des limites, parcourt ce débat post-jeu de rôle. Elle est d'autant plus marquée lorsque la discussion reste à un grand niveau de généralité. Ce fut particulièrement le cas au début de la discussion où les échanges sont demeurés très abstraits. Les élèves ont alors opposé "évolution" et "sécurité", "ce qui est important par rapport aux nanotechnologies" et les "risques". Et tant que le débat a été posé dans ces termes vagues, il semblait émerger une sorte de consensus autour d'un positionnement "qui ferait la part des choses". Cette uniformité des positionnements nous semble être permise par la souplesse des termes employés, chacun mettant sous la terminologie de "sécurité", "d'évolution" mais aussi de "limites" quelque chose de diffus et donc de difficilement discutable. Des divergences apparaissent pourtant lorsque la discussion aborde plus en détail les conséquences des utilisations des nanotechnologies pour améliorer les capacités humaines.

Malgré cette tendance marquée à proposer une lecture du débat au travers d'une grille d'analyse binaire, triant avantages et inconvénients, deux élèves (l'une ayant étudié le cahier de l'INRS et l'autre le document de la FEBEA) soulignent en toute fin du débat la multiplicité des perspectives. Leurs deux interventions témoignent peut-être que des élèves ont conscience que ces catégories estampillées avantages et inconvénients font cohabiter des objets hétéroclites. On peut, de plus, peut-être faire l'hypothèse que ces deux interventions d'élèves n'arrivent qu'en fin de discussion, une fois que les échanges ont permis de revenir sur des éléments concrets, forçant les élèves à nuancer leurs prises de positions et à dépasser ce leitmotiv : "pour les développements des nanotechnologies en tenant compte des limites." Ces

8. Les deux autres mouvements fallacieux que nous avons avons repérés dans cette discussion finale sont :
   - un refus d'argumenter sa prise de position de l'élève qui avait représenté l'Académie de Médecine lorsqu'un de ses camarades met en doute le fait que les prises de position de cette société savante et de l'Association Transhumaniste seraient les plus pertinentes.
   - une violation de la règle selon laquelle une prémisse ne doit pas être présentée comme un point de départ accepté alors que tel n'est pas le cas commise par les élèves qui ont étudié le cahier des transhumanistes pour défendre les engagements de cette association.

deux élèves avouent par ailleurs, ne pas savoir comment se positionner face à la diversité des questionnements et des arguments.

À ce propos, il est possible qu'appréhender le débat en le réduisant à une pesée entre avantages et risques soit une manière pour les élèves de schématiser et de réduire la complexité du problème pour essayer de se positionner. Beaucoup d'élèves semblent n'avoir jamais vraiment eu vent des questionnements soulevés par les nanotechnologies et discerner les pertes des profits pourrait ainsi être une première façon de coder la complexité des discussions pour s'y retrouver. Les élèves adoptent ainsi un positionnement modéré et souvent flou qui tiendrait compte de la tension entre deux pôles identifiés grossièrement par des plus et des moins.

Finalement lors de la discussion post-jeu de rôle, un certain nombre d'objets de discussion abordés lors du jeu de rôle, ont été discutés.

Nous avons remarqué que les prises de parole des élèves avaient tendance à se polariser sur les interrogations liées aux effets concrets des nanotechnologies au détriment de celles portant sur les enjeux démocratiques ou économiques et sociaux des développements des nanotechnologies.

Par ailleurs, certains questionnements comme ceux liés aux régulations à mettre en œuvre pour prendre effectivement en compte les interrogations soulevées par l'utilisation de nanoparticules ou de puces électroniques ont aussi été discutés. Comme lors du jeu de rôle, les échanges sont alors restés à un grand niveau de généralité.

Enfin, au moment de se positionner les élèves ont souvent codé les débats soulevés par les nanotechnologies de manière générale et binaire en opposant "le positif" des nanotechnologies à leurs "risques" pour finalement se déclarer en faveur d'un positionnement qui "ferait la part des choses".

Chapitre 8

Analyse de l'activité de recherche documentaire

Au cours de la séance qui fait suite au jeu de rôle, les élèves ont reçu des fiches de consignes pour guider leurs recherches et il leur incombait de rechercher eux-mêmes des documents pour répondre à trois questions portant sur l'un des volets de questionnements soulevés par les nanotechnologies. Les élèves ont de plus été avertis qu'ils devraient proposer une présentation de leurs résultats devant le reste de la classe en fin de séance.

Dans ce qui suit, nous allons d'abord étudier les documents retenus par les élèves et les informations qu'ils ont recueillies sur les organisations auteurs de ces textes. Nous nous intéresserons ensuite à la manière dont ils les ont exploités pour préparer leurs présentations.

8.1 Documents choisis par les élèves

8.1.1 Quels documents ont été retenus ?

8.1.1.1 Aspects sanitaires et environnementaux : Des documents mettant en avant l'importance de l'environnement, du développement durable, de la consommation et de l'investissement responsables

Le groupe d'élèves qui a travaillé sur les questions sanitaires et environnementales posées par les nanotechnologies a recueilli trois documents [1] (tableau 8.1).

Tous proviennent de sites mettant en avant leur intérêt pour le "développement durable" et l'environnement.

Consoglobe s'intéresse par ailleurs plus particulièrement à "la consommation responsable". On lit sur ce site que ses concepteurs souhaitent "*offrir tout ce qu'il faut au consommateur responsable : shopping, infos, services, annuaires...*" et sur la partie du site (l'encyclo-écolo) dont est tirée la page visitée par les élèves [3], il est écrit que Consoglobe veut *"Proposer des synthèses sur des sujets liés au développement durable, à l'écologie, à la consommation responsable au sens large."*

Novethic affiche pour sa part des objectifs en matière d'investissement et de développement responsable des entreprises. Cette organisation se présente en effet comme une filiale de la caisse des dépôts ayant à la fois un rôle d'information sur le développement durable, mais

1. La plupart des pages Internet sélectionnées par les élèves figurent dans l'annexe 14.3. Nous n'avons pas fait figurer ceux qui étaient trop volumineux (plus d'une dizaine de pages), mais nous les tenons à disposition d'un lecteur intéressé.

3. www.encyclo-ecolo.com/Nanoparticules consulté le 31/01/2012. Sauf mention explicite du contraire, toutes les autres adresses de page Internet figurant dans ce chapitre ont été visitées à cette même date.

Organisation ou individu auteur du document	Mission revendiquée par l'acteur	Type et thème de la page sélectionnée
Consoglobe - équipe de journalistes "indépendante"	Éclairer le *"consommateur responsable"*;	Article de "l'encyclo-écolo" traitant des questions que sont les nanoparticules et les nanomatériaux et où trouve-t-on ce type d'objets ?
Actu-environnement, appartenant à Cogiterra, entreprise de presse privée	Proposer des informations sur l'actualité de *"l'environnement et le développement durable"*	Définition de nanoparticules et nanomatériaux
Novethic - filiale de la caisse des dépôt	Proposer des informations sur *"les grands enjeux planétaires*[2]*"*.	Article sur la réglemention encadrant les nanomatériaux

TABLE 8.1 – Documents recueillis pour répondre aux questions sur les questionnements sanitaires et environnementaux posés par les substances nano.

aussi celui d'un centre de recherche produisant des études *"sur l'Investissement Socialement Responsable (ISR) et la Responsabilité Sociale des Entreprises (RSE)*[4]*"*.

L'exploration de la controverse par les élèves se fait donc ici au travers du discours d'acteurs
- proposant une mise en forme de l'information destinée au "grand public",
- mettant l'accent sur les questions environnementales et le "développement durable",
- et susceptibles de mettre en perspective les questions posées par les nanoparticules et les nanomatériaux avec les problèmes de leur utilisation industrielle et de leur mise sur le marché.

8.1.1.2 Utilisations en médecine : des sites d'acteurs partie prenante du développement des nanotechnologies, d'acteurs questionnant ce qu'est la NBIC et un site de TPE

Les élèves qui ont travaillé sur les questions soulevées par les utilisations en médecine des nanotechnologies ont recueilli en tout 5 documents, répertoriés dans le tableau 8.2.

Pour se documenter sur les perspectives ouvertes par ces développements, les élèves ont utilisé des discours d'acteurs parties prenantes du développement des sciences et des technologies. L'un des groupes a ainsi utilisé un dossier qui présente de multiples applications des nanotechnologies en médecine[7] réalisé par le CNRS, soit par l'un des organismes de recherche français contribuant au développement des nanotechnologies.

L'autre groupe a utilisé un texte paru sur le site d'un ancien sénateur du Rhône[8] dont on peut lire sur le site du Sénat qu'il est l'auteur d'un rapport sur la recherche et la technologie réalisé pour le projet de loi de finances de 2004[9]. Cet acteur s'intéresse donc aux orientations de la recherche en France en matière de sciences et de technologies.

Par ailleurs, l'une des questions posée aux élèves leur demandait ce qu'était la convergence NBIC. Pour trouver des informations sur ce thème, les deux groupes d'élèves ont ici choisi des

4. http ://www.novethic.fr/novethic/entreprise/impact_local/sante/nanoparticules_comment_reglementer_risques/118833.jsp
7. http ://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosnano/decouv/03/03_0/00_1.htm
8. http ://www.rtflash.fr/nanotechnologies-prochaine-revolution-medecine/article
9. Source : http ://www.senat.fr/rap/l03-073-326/l03-073-326.html, consulté le 30/09/2012

	Organisation ou individu auteur du document	Mission revendiquée	Type et thème de la page sélectionnée par les élèves
G1	CNRS	Développer des connaissances scientifiques et technologiques	Dossier sur les utilisations en médecine des nanotechnologies à destination “du grand public”
	Sciences et Démocratie	*“Faciliter et développer la participation des citoyens aux choix scientifiques et technologiques*[5]*”*	Forum ouvert avant rédaction d’un article sur les NBIC pour permettre aux personnes intéressées de participer à la délimitation du sujet
	Élèves de première réalisant un TPE	Réaliser un exercice académique	Article sur les “risques” des nanotechnologies
G2	Un ancien sénateur du Rhône	Fournir des informations sur le développement des sciences et des technologies aux décideurs et aux citoyens	Article sur les perspectives ouvertes par les nanotechnologies en médecine
	Cluster de recherches sur les “Enjeux et Représentations de la Science, de la Technologie et de leurs Usages.”	*“Produire des connaissances, former des étudiants, éclairer la décision publique, participer au débat citoyen sur les choix scientifiques et techniques*[6]*”.*	Présentation d’un projet de recherche sur “l’imaginaire des NBIC” financé par la région Rhône Alpes

Table 8.2 – Documents recueillis sur les interrogations ouvertes par les utilisations des nanotechnologies en médecine

pages web présentant des projets de recherche ou des projets d'articles sur cette thématique.

L'un des groupes a utilisé une page du site de l'association Sciences et Démocratie, qui s'intéresse à la participation des citoyens aux choix scientifiques et technologiques, où cette organisation fait un appel aux utilisateurs du site pour recueillir leurs avis :

> *"Nous proposons de traiter de cette question de la convergence en dehors de notre dossier nanomonde. Êtes-vous d'accord pour considérer le sujet de la convergence NBIC comme un dossier à part entière plutôt que comme une sous-partie du dossier "nanomonde" ?*
>
> *Merci de participer à la délimitation du sujet, à l'identification des notions fondamentales qui aideront le lecteur novice à mieux appréhender le sujet, à la formulation des bonnes questions qui feront les bons débats."*[10]

L'autre groupe a consulté une page hébergée par l'ENS Lyon[11] présentant un projet de recherche sur l'imaginaire de la NBIC[12] financé par la Région Rhône-Alpes. Les deux groupes d'élèves ont donc sélectionné les pages de sites Internet rédigées par des acteurs s'apprêtant à questionner le projet de convergence des technologies.

Enfin, l'un des groupes a aussi visité un site sur "les dangers des nanotechnologies"[13] réalisé en 2006 par des élèves de première S pour leur TPE[14].

8.1.1.3 Protection des libertés : Des documents sur la technologie RFID et des documents issus de Wikipédia, de la CNIL, du site de la Fondation Sciences Citoyennes

Parmi les documents choisis par les groupes qui ont travaillé sur les questions de protection des libertés (présentés dans le tableau 8.3), les élèves ont utilisé :

- un site se présentant comme le portail francophone de la RFID dont le webmaster est un ingénieur Belge, assistant à la Faculté Polytechnique de Mons,
- un article de Wikipédia,
- et un mémoire réalisé par des étudiants en master de logistique comparant RFID et codes barres

pour tirer des informations factuelles sur les RFID.

Pour traiter des interrogations soulevées par l'utilisation massive d'outils communicants miniaturisés, le groupe d'élèves G1 a par ailleurs exploité trois documents. L'un, mis en ligne sur le site de la Fondation Sciences Citoyennes porte sur la biométrie. Le second provient du site de la CNIL mais les élèves n'ont pas précisé pas les pages visitées sur ce dernier site. Leur troisième document est un article paru sur le site d'information "Bastamag", qui se présente comme un "média alternatif et engagé" traitant des questions sociales et écologiques[16]. Cet article relate une manifestation anti-RFID organisée par PMO et la confédération paysanne qui a eu lieu à Valence en novembre 2009.

Enfin, pour aborder les questions soulevées par les nanotechnologies pour les libertés, l'autre groupe d'élèves (G2) a utilisé l'analyse de ces interrogations proposée par Wikipédia et par des étudiants en master de logistique.

10. http ://www.sciences-et-democratie.net/dossiers-et-debats/les-nanotechnologies/convergence-nbic
11. L'ENS Lyon est un établissement de recherche et d'enseignement supérieur qui recrute l'essentiel de ses étudiants sur concours après deux années de classes préparatoires.
12. http ://erstu.ens-lyon.fr/spip.php ?rubrique58
13. http ://nanotechnologie-1s4.e-monsite.com/pages/les-risques/quels-dangers.html
14. Les TPE sont des travaux réalisés en groupes généralement de 3 élèves, dans le cadre d'un enseignement obligatoire qui est évalué au baccalauréat. Pendant 18 semaines, les élèves doivent définir un sujet et une problématique, puis s'efforcer d'y répondre en cherchant des documents et en réalisant une production qui peut être de nature diverse (maquettes, expériences, site internet...). Ces travaux donnent lieu à une soutenance orale, où les élèves présentent leurs réalisations.
16. http ://www.bastamag.net/article768.html

	Organisation ou individu auteur du document	Mission revendiquée	Type et thème de la page sélectionnée
G1	Ingénieur assistant à la Faculté Polytechnique de Mons	Donner des informations sur les technologies RFID et référencer divers sites dont des sites marchands	Article présentant la technologie RFID
	Bastamag	Fournir des informations sur les questions sociales et environnementales	Article sur une manifestation contre les RFID
	Fondation Sciences Citoyennes	*"Favoriser une réappropriation citoyenne et démocratique de la science*[15]*"*	Article sur la biométrie
	CNIL	Protéger la vie privée et les libertés	Les élèves ne précisent pas la page qu'ils ont visitée
G2	Wikipédia	Fournir des informations	Article sur les RFID
	Étudiants de Master en Logistique	Effectuer un exercice académique	Mémoire de master comparant la technologie RFID aux codes barres

Table 8.3 – Documents sélectionnés par les élèves travaillant sur la protection des libertés

	Organisation ou individu auteur du document	Mission revendiquée	Type et thème de la page sélectionnée
G1	Sciences et Démocratie	*"Faciliter et développer la participation des citoyens aux choix scientifiques et technologiques"*	Cahier d'acteur fourni à la CNDP
	Fondation Sciences Citoyennes	*"Favoriser une réappropriation citoyenne et démocratique de la science"*	Article sur le cycle de débats publics de la CNDP
G2	Sciences et Démocratie	*"Faciliter et développer la participation des citoyens aux choix scientifiques et technologiques"*	Cahier d'acteur fourni à la CNDP
			Article sur l'étiquetage des produits contenant des substances nano.
	Fondation Sciences Citoyennes	*"Favoriser une réappropriation citoyenne et démocratique de la science"*	Cahier d'acteur fourni à la CNDP

Table 8.4 – Documents sélectionnés par les élèves travaillant sur les enjeux démocratiques du développements des nanotechnologies

8.1.1.4 Développements technoscientifiques et démocratie : Des documents produits par des associations travaillant à l'appropriation citoyenne des choix scientifiques et technologiques

Les deux groupes d'élèves qui ont traité des questions sur les rapports entre développements des nanotechnologies et démocratie ont sélectionné pour leur part exclusivement des documents produits par des associations œuvrant pour l'appropriation citoyenne des choix scientifiques et technologiques (Voir tableau 8.4).

Tous les documents qu'ils ont sélectionnés ont ainsi été rédigés soit par la Fondation Sciences Citoyennes, soit par l'association Sciences et Démocratie. La plupart de ces documents sont par ailleurs directement liés au cycle de débat public de la CNDP. Ainsi, les deux groupes d'élèves ont retenu le cahier d'acteur produit par Sciences et Démocratie. L'un des groupes a aussi utilisé le contenu du cahier d'acteur de la Fondation Sciences Citoyennes. L'autre groupe a enfin choisi un document signé par Jacques Testard, chercheur et membre du conseil d'administration de la Fondation Sciences Citoyennes où cet auteur discute des limitations des débats de la CNDP.

8.1.1.5 Enjeux économiques et sociaux : Des documents produits par le Ministère de l'économie, la Commission Européenne et un article de Wikipédia

Enfin, les deux groupes d'élèves qui ont dû explorer les enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies ont eu recours à plusieurs documents provenant du site du Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. Comme le montre le tableau 8.5, l'un des groupes a d'ailleurs utilisé exclusivement des documents produits par des sources institutionnelles (Commission Européenne et Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie). Ces élèves n'ont donc rencontré que des discours officiels sur les enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies.

De leur côté, l'autre groupe d'élèves travaillant sur ce thème a retenu, outre un document destiné au "grand public" produit par le Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie, un document issu d'un site de référencement des professionnels du secteur de "l'ultra-propreté" (salle blanche, instruments stériles...) qui répertorie plusieurs domaines d'application des nanotechnologies. Ils ont également retenu un article de Wikipédia traitant des "débats sur les nanotechnologies" pour se documenter sur les questionnements soulevés par les nanotechnologies en matière économique et sociale.

8.1.2 Comment les élèves situent les acteurs des documents qu'ils ont retenus ?

Les élèves ont été confrontés au travers de cette activité à une variété de documents. Nous nous sommes intéressés aux informations qu'ils ont recueillies pour situer ces discours. Pour cela, notre matériau d'analyse est constitué des réponses qu'ils ont apportées aux questions suivantes :

- qui a écrit ce document ?
- quelles sont les missions revendiquées par l'auteur du document ?
- comment sont financés les travaux de l'auteur ?

8.1.2.1 Réponses à la question "qui a écrit ce document ?"

Lorsqu'ils ont rempli les fiches d'évaluation de leurs sources documentaires, les élèves ont la plupart du temps (pour 15 documents sur 25) relevé le nom de l'organisation auteur du document.

	Organisation ou individu auteur du document	Mission revendiquée	Type et thème de la page sélectionnée
G1	Commission Européenne	Gérer et mettre en œuvre les politiques et le budget de l'Union Européenne	Dossier de présentation "grand public" des nanotechnologies
	Ministère de l'économie, de l'industrie et des finances	Définir la politique économique, budgétaire et industrielle de la France	Article sur les perspectives pour l'économie et l'emploi ouvertes par les nanotechnologies
			Étude prospective sur les nanomatériaux
G2	Ministère de l'économie, de l'industrie et des finances	Définir la politique économique, budgétaire et industrielle de la France	Article sur les perspectives pour l'économie et l'emploi ouvertes par les nanotechnologies
	Site de "l'Ultra propreté" - produit par une société d'analyse des marchés technologiques : le Bureau pour la Connaissance des Marchés Industriels	Référencer les experts, professionnels et utilisateurs d'environnements ou de produits propres (Salles blanches, produits stériles, blocs opératoires...)	Article sur les secteurs d'application des nanotechnologies
	Wikipédia	Fournir des informations	Article sur *"les débats sur les nanotechnologies"*

TABLE 8.5 – Documents retenus par les élèves travaillant sur les enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies

Les groupes qui ont utilisé des productions scolaires ou universitaires (site de TPE et mémoire de master) ont noté respectivement que les auteurs étaient des élèves en classe de première S et des étudiants en master 1 et 2 de l'Université de Picardie.

Ceux qui ont choisi des documents issus de Wikipédia ont eux souligné qu'ils ne connaissaient pas l'identité de l'auteur en écrivant :

> *"Je ne sais pas, c'est un regroupement de plusieurs sites." (G2 - Protection des libertés)*
>
> *"Anonyme (Wikipédia)" (G2 - Enjeux économiques et sociaux)*

Enfin, à 6 reprises (sur 25 documents) les élèves ont répondu à la question "qui a écrit ce document ?" en relevant le patronyme des auteurs du document sans apporter de précision supplémentaire ou bien en indiquant qu'ils ne connaissaient pas l'identité de la personne tenant la plume (voir tableau 8.6).

Thème travaillé par les élèves	Document	Réponse à la question "Qui a écrit ce document"
Utilisations en médecine (G2)	Page de présentation du projet de recherche sur l'imaginaire de la NBIC	*"Patrick Pajon, Philippe Walter Clusters de recherche"*
Protection des libertés (G1)	Page du site Bastamag	*"Ivan Du Roy"*
	Page du site Rfidfr.org, "portail francophone de la technologie RFID"	*"Une personne qu'on ne connaît pas"*
Rapports entre démocratie et développements technoscientifiques (G1)	Cahier d'acteur de Sciences et Démocratie	*"Philippe Bourlitio"*
Enjeux économiques et sociaux (G1)	Étude prospective réalisée pour le Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie	*"Dominique Carlac'h et Yves Hemery pour MINEFI/DIGITIP/SIMAP".*
Enjeux économiques et sociaux (G2)	Page du site de "l'ultra-propreté"	*"Marcel LAHMANI - Université d'Evry Jean MALHE".*

Table 8.6 – Des réponses à la question "qui a écrit ce document ?" reprenant le patronyme des auteurs ou indiquant que les élèves ne connaissent pas l'auteur

8.1.2.2 Des réponses diverses pour rendre compte des missions revendiquées par les auteurs des documents

D'autres questions incitaient les élèves à situer le discours des acteurs dont ils étudiaient les documents et notamment celle leur demandant "*Avez-vous des informations sur les missions que revendique cet acteur ?*". Les réponses apportées ont été ici diverses.

Ainsi, pour 9 documents, les élèves n'ont pas fourni d'indications sur les missions revendiquées par l'organisation ou la personne auteur du document.

Pour 6 documents inventoriés dans le tableau 8.7, les élèves ont résumé le contenu ou cité des passages des documents retenus.

Certains nous semblent ici faire preuve d'une certaine prise de distance par rapport au contenu du document. Ainsi le groupe qui travaillait sur les enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies qualifie le texte du Ministère de l'économie de *"des-*

Thème travaillé par les élèves	Document	Missions revendiquées par l'acteur rapportées par les élèves
Utilisations en médecine (G2)	Article sur les perspectives ouvertes par les nanotechnologies en médecine sur le site de l'ex-sénateur du Rhône (RTflash)	*"- Nanoballes contre le cancer (capable de detruire des types de cancers inopérable, de cibler les tumeurs et lié ces nanoballes a des anticorps qui se fixent uniquement a des cellules cancereuses.) - modifier l'ADN dans le noyau"*
	Site présentant un projet de recherche sur l'imaginaire de la NBIC financé par la région Rhône-Alpes (Cluster ERSTU [17])	*"Amélioration des progrès physique, intervention industrielle au cœur de la matière et de rechercher des combinaisons entre bits, atomes, neuronne et gène. Une façon NBIC= information, biologie, nanotechnologie et conitive (science)"*
Utilisations en médecine (G1)	Dossier du CNRS sur les nanotechnologies pour la médecine	*"Ils revendiquent l'avenir des nanos dans le domaines de la médecines"*
	Page sur les "dangers des nanotechnologies" du site des élèves de 1ère S	*"Ils revendiquent les dangers des nanos"*
Rapports entre démocratie et développements technoscienti-fiques (G2)	Article du site de Sciences et Démocratie sur l'étiquetage des produits nanos	*"Réglementation européenne pour l'information des consommateurs".*
Enjeux économiques et sociaux (G2)	Article sur les perspectives pour l'économie et l'emploi ouvertes par les nanotechnologies du Ministère de l'économie	*"Presentation du marché mondiale de l'ordre de 1000 milliards d'euro, description méliorative des nanotechnologie en ventant les débouchés, le marché que cela represente".*

TABLE 8.7 – Des réponses citant des passages ou résumant le contenu du document pour présenter les missions revendiquées par l'organisation-auteur.

cription méliorative des nanotechnologies en ventant les débouchés". Ceci nous laisse penser qu'ils considèrent d'un œil critique le document du ministère.

Par ailleurs, pour 3 documents présentés dans le tableau 8.8, les élèves ont répondu en faisant référence aux recommandations formulées dans les documents ou bien aux actions engagées par l'acteur en matière de nanotechnologies.

Thème travaillé par les élèves	Document	Missions revendiquées par l'acteur rapportées par les élèves
Rapports entre démocratie et développements technoscientifiques (G1)	Texte de Jacques Testard portant sur le cycle de débat de la CNDP et publié sur le site de la Fondation Sciences Citoyennes	*"faire un moratoire (arreter les recherches pour d'abord en savoir plus sur les risques que peuvent provoquer les nanotechnologies et demander l'avis du peuple)"*
	Cahier d'acteur de l'association Sciences et Démocratie	*"- ↗ nbre recherche sur les risque - étiquetage des produit - consultation de la population (communication)."*
Enjeux économiques et sociaux (G1)	Dossier de la Commission Européenne présentant les projets de développements des nanotechnologies	*"Ils veulent étendre les méthodes de nanofabrication à la gde production de l'industrie. - élargir la base de connaissances en Europe - construire 1 industrie européenne axée sur la RDT - encourager l'industrie à adopter les techniques de pointe."*

Table 8.8 – Des recommandations formulées dans le document pour présenter les missions revendiquées par l'auteur du document

Ces informations relevées par les élèves ne les renseignent pas forcément sur le type d'organisation auquel ils ont affaire. Toutefois, ces réponses nous paraissent indiquer que les élèves ont cerné certaines préconisations de ces acteurs :

- par exemple que la Fondation Sciences Citoyennes souhaite *"demander l'avis du peuple*[18]*"* pour le développement des nanotechnologies,
- que Sciences et Démocratie préconise de consulter la population
- ou que la Commission Européenne promeut et soutient le développement des nanotechnologies.

En ce sens, ils ont en main certains éléments leur permettant de situer le discours de l'acteur.

Nous avons aussi rencontré à deux reprises des réponses où les élèves estimaient que le document retenu ne cherchaient pas défendre pas de point de vue particulier, mais était là pour informer.

> *" ce site sert plus à informer qu'à revendiquer un point de vue"* (Groupe G2, sur la protection des libertés, à propos de l'article de Wikipédia sur les RFID)

> *"Il veut informer. Il ne prend pas de position"* (Groupe G1, sur les enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies, pour un document produit par le Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie)

18. Pour reprendre les mots employés par les élèves.

Ces deux groupes d'élèves semblent donc aborder ces documents en considérant que le discours porté puisse être "neutre" ou "objectif".

Enfin pour 5 documents, les élèves ont proposé une description des missions revendiquées par l'acteur auteur du document en reprenant des extraits du site ou du document où l'organisation se présente (voir tableau 8.9). C'est ce qu'ont fait les élèves travaillant sur les questions

Thème travaillé par les élèves	Document	Missions revendiquées par l'acteur rapportées par les élèves
Questions sanitaires et environnementales	Page du site Consoglobe sur les nanoparticules et les nanomatériaux	*"offrir tout ce qu'il faut au consommateur responsable : shopping, info, service, annuaire"*
	Définition des termes nanoparticules et nanomatériau du site Actu-Environnement	*"Entreprise privée de presse spécialisée & indépendante"*
	Page du site Novéthic sur les réglementations encadrant l'utilisation et la commercialisation des substances nano	*"média sur le dvpt durable, centre de recherche sur l'Investissemt Socialemt Responsable (ISR) et Responsabilité Sociale des Entreprises (RSE)"*
Rapports entre démocratie et développements technoscientifiques (G2)	Cahier d'acteur de Sciences et Démocratie	*"Les missions sont : produit des dossiers pédagogiques et animent des espaces de discussion, elle relée les projets participatif mise en œuvre par les institutions"*
	Cahier d'acteur de la Fondation Sciences Citoyennes	*"1) elle a pour objectif de mettre la science au service du bien commun c'est à dire des citoyens"*

Table 8.9 – Des citations d'extraits des paragraphes où les acteurs se présentent pour répondre à la question sur les missions revendiquées par l'auteur.

sanitaires et environnementales soulevées par les nanotechnologies. Pour les trois documents qu'elles ont utilisés, elles ont cité des passages de ce qu'on peut lire à la rubrique "qui nous sommes ?" des sites qu'elles ont consultés.

C'est aussi ce qu'ont fait les élèves du groupe ayant retenu les cahiers d'acteurs de Sciences et Démocratie et de la Fondation Sciences Citoyennes. Pour ces deux documents, ils ont relevé des passages des encadrés où ces organisations se présentaient.

8.1.2.3 Informations sur le financement des travaux des auteurs du document

Une dernière question portait sur le financement des travaux de l'acteur ayant rédigé les textes sélectionnés par les élèves. Ceux-ci ont répondu de manière variable à cette question. Pour 11 documents sur 25, les élèves n'ont pas fourni de réponse. Pour 5 autres documents rassemblés dans le tableau 8.10, les élèves ont indiqué des éléments relatifs aux financements des travaux dont il était question dans le document sélectionné (développement des nanotechnologies en général, développement des nanotechnologies en médecine, développements des nanotechnologies financés par la région Rhône-Alpes ou la commission européenne).

Enfin, pour 9 documents les élèves ont recueilli des informations sur le financement des organisations auteurs des documents. Ces réponses sont répertoriées dans le tableau 8.11.

Thème travaillé par les élèves	Document	Réponse apportée à la question sur le financement des travaux de l'acteur
Utilisations en médecine (G1)	Page sur les NBIC du site de Sciences et Démocratie	*"Sommes colossales investies"*
Utilisations en médecine (G2)	Article sur les perspectives ouvertes par les nanotechnologies en médecine sur le site de l'ex-sénateur du Rhône (RTflash)	*"les principales experiences ont été réalisée dans des université ou centre national de recherches scientifiques"*
	Site présentant un projet de recherche sur l'imaginaire de la NBIC financé par la région Rhône-Alpes (Cluster ERSTU [19])	*"on sait juste qu'ils sont en colaboration"*
Enjeux économiques et sociaux (G1)	Article sur les perspectives pour l'économie et l'emploi ouvertes par les nanotechnologies du Ministère de l'économie	*"Il n'y a pas de travaux"*
	Dossier de la Commission Européenne présentant les projets de développements des nanotechnologies	*"Programmes :* *- qualité de vie et gestion des ressources du vivant* *- société de l'information conviviale* *- croissance compétitive et durable* *→ financés par la Commission Européenne."*

Table 8.10 – Des réponses un peu en décalage avec la question posée portant sur le financement des travaux de l'acteur-auteur du document

Thème travaillé par les élèves	Document	Réponse apportée à la question sur le financement des travaux de l'acteur
Utilisations en médecine (G1)	Dossier du CNRS sur les nanotechnologies pour la médecine	*"L'État fournit les financements du CNRS"*
Rapports entre démocratie et développements technoscientifiques (G1)	Cahier d'acteur de Sciences et Démocratie	*"Dons"*
	Texte de Jacques Testard portant sur le cycle de débat de la CNDP et publié sur le site de la Fondation Sciences Citoyennes	*"- Fondation Charles Léopold Mayer - Commission Européenne - Région Île de France - Gouvernement Français - Mairie de Paris - Loyola Chicago University".*
Rapports entre démocratie et développements technoscientifiques (G2)	Cahier d'acteur de Sciences et Démocratie	*"Dons"*
	Article du site de Sciences et Démocratie sur l'étiquetage des produits nanos	
	Cahier d'acteur de la Fondation Sciences Citoyennes	*"Il y a un appel aux dons sur le site"*
Enjeux économiques et sociaux (G1)	Étude prospective réalisée pour le Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie	*"Ils ont été financer par MINEFI/DIGITP/SIMA"*
Enjeux économiques et sociaux (G2)	Article sur les perspectives pour l'économie et l'emploi ouvertes par les nanotechnologies du Ministère de l'économie	*"impôts, taxes, argent publique"*
	Article de Wikipédia sur "les débats sur les nanotechnologies"	*"Bénévola, donts"*

TABLE 8.11 – Réponses apportées par les élèves portant sur le financement des organisations-auteurs du document

Parmi ces réponses, celle concernant l'étude prospective réalisée pour le Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie ne reprend que des sigles. On ne peut donc pas savoir si les élèves ont cherché à expliciter leur signification. D'ailleurs, le dernier organisme cité n'est pas le SIMA mais le SIMAP [20].

8.1.3 Comment les élèves justifient leurs choix de documents ?

Dans 3 cas (sur 25 documents), les élèves ont invoqué la pertinence du type de source documentaire pour expliquer leur choix. Ces justifications sont répertoriées dans le tableau 8.12.

Thème travaillé par les élèves	Citations issues des fiches d'évaluation des sources documentaires
Rapports entre démocratie et développements technoscientifiques (G2)	*"C'est le cahier d'acteur de la fondation lors du débat public sur les nanotechnologies".*
Enjeux économiques et sociaux (G1)	*"C'est la Commission Européenne : c'est donc un site sûr."*
Enjeux économiques et sociaux (G1)	*"C'est un document officiel : il regroupe les informations, les synthétise"*

Table 8.12 – Justifications du choix de document mettant l'accent sur le type de source documentaire

La première de ces justifications est proposée par les élèves qui ont étudié les rapports entre nanotechnologies et démocratie. Ils ont retenu comme document l'un des cahiers d'acteur du débat public organisé par la CNDP et ont motivé ce choix en indiquant qu'ils avaient reconnu qu'il s'agissait d'un document analogue à ceux qui leur avaient été distribués lors de l'activité de jeu de rôle. Ils expliquent de plus :

> *"on était sûr d'être en rapport avec notre sujet."*

Les deux autres justifications qui mettent l'accent sur le type de document ou le type de site d'où provient la source documentaire, ont été proposées par un groupe d'élèves travaillant sur les enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies. Ces élèves n'ont retenu que des documents provenant soit du site du Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie, soit de la Commission Européenne. Elles expliquent qu'elles accordent leur confiance à ces documents parce qu'ils proviennent de sources officielles. Enfin, la manière dont elles présentent les choses en parlant de "site sûr", nous semble laisser entendre que les informations du document ne sont pas discutables. On peut donc s'interroger sur les conséquences de ce choix. Puisqu'elles estampillent d'emblée ce site comme "sûr", quelle place les élèves laissent-elles pour une mise à distance du contenu qu'elles lisent ensuite ?

Outre ces trois explications de choix de documents, pour 21 documents, les élèves ont mis en avant, parfois au côté de d'autres critères, la pertinence de leur contenu pour expliquer le fait qu'ils les aient retenus. Quelques exemples de ce genre de justifications sont rassemblées dans le tableau 8.13.

Les formulations des élèves sont ici assez diverses.

Une justification invoque l'idée de *"points de vue sur la question des RFID".*

20. Minefi est le Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. De plus, sur les premières pages de ce document, il est écrit que la DIGITIP correspond à la Direction Générale de l'Industrie, des Technologies de l'Information et des Postes (DIGITIP). Le dernier sigle n'est par contre pas explicité. Une recherche Google nous laisse penser que le SIMAP est le service d'information pour les marchés publics européens.

Thème travaillé par les élèves	Citations
Questions sanitaires et environnementales	*"Parce qu'il répond clairement à la question"*
Utilisations en médecine (G2)	*"Ce document semblait interessant car il comporte de nombreux details, et est principalement axée sur la médecine, et les réalisations et expériences faites."*
Protection des libertés (G1)	*"C'est le point de vue de 2 acteurs sur les RFID"*
Rapports entre démocratie et développements technoscientifiques (G1)	*"ce document présente certaine difficulté lié au nanotechnologies"*
Rapports entre démocratie et développements technoscientifiques (G1)	*"Ce document traite de la gestion démocratique du dev. des nanos. Demander l'avis des citoyens"*
Rapports entre démocratie et développements technoscientifiques (G2)	*"il insite à la citoyennisation de la science"*
Enjeux économiques et sociaux (G2)	*"Ce document nous renseigne sur les acteur des nanos et sur les questions que l'on se pose dessus."*

TABLE 8.13 – Exemples de justifications apportées par les élèves pour expliquer leurs choix de documents mettant en avant la pertinence du contenu pour répondre aux questions posées

Certaines présentent le contenu du document en indiquant que le document répond à la question, donne la définition... On peut ainsi lire :

> *"on y trouve toutes les réponse"* (Groupe travaillant sur les questions sanitaires et environnementales)
>
> *"il répond clairement à la question"* (Groupe travaillant sur les questions sanitaires et environnementales)
>
> *"il donne autant la definition que les contraintes du sujet"* (Groupe travaillant sur la protection des libertés - G2)

Un groupe a par ailleurs proposé une formulation évoquant "l'avenir des nanos" dont discuterait le document qu'ils ont retenu, sans questionner les difficultés auxquelles se heurte quiconque souhaitant prédire l'avenir.

> *"Ce document nous dit l'avenir des nanos".*

Ces justifications mettant en avant la pertinence du contenu des documents sont parfois assorties d'autres considérations. Ces considérations sont essentiellement de trois types.

Plusieurs élèves argumentent leur choix de source documentaire en indiquant que le niveau de complexité du discours est approprié. Nous avons repéré 7 citations contenant ce type de justification dont quelques exemples sont donnés dans le tableau 8.14.

D'autres considérations, relevées pour deux documents, ont trait à la clarté du texte retenu. Elles figurent dans le tableau 8.15.

Enfin, pour quatre documents, certains groupes d'élèves ont également souligné le caractère complet des documents qu'ils ont sélectionnés (quelques exemples sont donnés au tableau 8.16). On peut toutefois ici s'interroger sur ce que les élèves veulent signifier par ce qualificatif de "complet". Un document est-il complet parce qu'il permet d'apporter des éléments de réponse à toutes les questions qui ont été posées à un groupe d'élèves ? Ou bien un document est-il complet car il envisage plusieurs points de vue sur une même question ?

Thème travaillé par les élèves	Citations
Utilisations en médecine (G1)	*"On a choisit ce document car il traite du sujet du NBIC et que les termes appropriés sont de notre niveau"*
Protection des libertés (G1)	*"Il est simple à comprendre et résume bien"*
Protection des libertés (G2)	*"C'est un document assez simple à comprendre puisqu'il n'est pas avec un vocabulaire complexe et il est très complet il donne autant la definition que les contraintes du sujet"*

Table 8.14 – Exemple de justifications apportées par les élèves pour expliquer leurs choix de documents soulignant que le niveau de complexité du discours est approprié.

Thème travaillé par les élèves	Citations
Questions sanitaires et env.	*"Parce qu'il répond clairement à la question"*
Utilisations en médecine (2)	*"Nous avons choisi ce document car il est facile à comprendre et que les informations sont claires et précises et il montre les aspects négatif mais également positif de la convergence de la NBIC"*

Table 8.15 – Justifications apportées par les élèves pour expliquer leurs choix de documents mettant en avant leur clarté

Thème travaillé par les élèves	Citations
Questions sanitaires et env.	*"Document complet, simple d'explication, on y trouve toutes les réponse"*
Enjeux économiques et sociaux (G2)	*"document complet, nous parlant des question à propo des nano"*

Table 8.16 – Exemple de justifications apportées par les élèves pour expliquer leurs choix de documents mettant en avant le caractère complet du document.

Dans le premier cas, la mise à distance du discours de l'acteur est assez ténue. Il s'agit d'apporter "la réponse". Dans l'autre au contraire, il y a recherche de confrontation des points de vue. Ici cependant, nous manquons d'éléments pour déterminer la signification que les élèves donnent au terme complet.

8.2 Exploitation des documents

8.2.1 L'aperçu de la controverse donné au travers de l'exploitation des documents

Guidés par des questions, les élèves ont exploités ces documents qu'ils avaient sélectionnés. Nous nous sommes intéressés aux contenus que les élèves ont tiré de ces textes. L'objectif est ici de caractériser l'aperçu de la controverse donné à l'ensemble de la classe réalisé à partir de l'exploitation en petits groupes des documents récoltés sur Internet.

8.2.1.1 Aperçu sur les nanoparticules et les nanomatériaux et leur toxicité

Les questions qui ont été posées au groupe d'élèves travaillant sur les questions sanitaires et environnementales étaient les suivantes :

- Qu'est-ce qu'une nanoparticule ? Un nanomatériau ?
- Que sait-on des risques sanitaires et environnementaux liés à l'utilisation des nanoparticules et des nanomatériaux ?
- Quelles sont les réglementations existantes encadrant l'utilisation et la commercialisation de produits contenant des nanoparticules ?

Pour répondre à la question portant sur les définitions des termes nanoparticules et nanomatériaux, les élèves se sont appuyées sur deux sites d'information, ConsoGlobe et Cogiterra, revendiquant leur intérêt pour les questions d'environnement et de "développement durable". Elles ont retenu :

- un critère de taille pour définir les nanoparticules ;
- le fait que les nanomatériaux seraient constitués de nanoparticules ;
- l'idée que les nanomatériaux sont intentionnellement produits.

Elles ont enfin énuméré certains types de nanomatériaux [21].

3	Fabienne (ex-AFT)	Alors moi je vais commencer par répondre à la question qu'est-ce qu'une nanoparticule. Alors une nanoparticule et, ce sont des particules très fines comprises entre 1 et 100 nanomètres. Euh, un nanomatériau est composé de nanom, de nanoparticules ce sont des produits euh... *(regarde sa feuille et semble hésiter ; les deux autres élèves sourient et regardent avec elle sur la feuille. Melissa chuchote quelque chose d'inaudible)*
4	Alice (ex-AFT)	Intentionnellement... fabriquées
5	Fabienne (ex-AFT)	Ah ok.
6	Chercheure	Intentionnellement fabriqués, c'est çà ? Donc c'est à dire ?
7	Alice (ex-AFT)	Bah c'est pas dans la nature, c'est fabriqué.

21. Dans les tableaux de transcription qui suivent, l'indication aux côtés du prénom des élèves correspond au cahier d'acteur qu'ils ont étudié lors du jeu de rôle.

8	Chercheure	Par l'homme ?
9	Mélanie (ex-AFT)	Ouais.
10	Fabienne (ex-AFT)	Euh, bah voilà. Alors euh, des exemples de nanomatériaux euh, ça peut être des métaux céramiques, des carbones, des polymères, *(mot incompréhensible).* Alors on a trouvé ces informations sur euh, sur le site encyclo tiret écolo point com et sur actu tiret environnement point com.

Ces élèves ont ainsi proposé une définition générale des nanoparticules et des nanomatériaux. Ce grand niveau de généralité se retrouve aussi dans leur discours lorsqu'elles répondent à la question sur les risques sanitaires et environnementaux liés à l'utilisation de nanoparticules. Elles mettent alors en avant que plusieurs paramètres influent sur la toxicité des nanoparticules et citent la taille, la forme, leur nature.

Elles citent également différentes voies d'exposition, en parlant au conditionnel d' *"effets néfastes sur le corps, par inhalation, par contact, par ingestion".*

Enfin, en matière d'écotoxicité, les élèves mentionnent les résultats d'une étude expérimentale répertoriés sur le site Internet de ConsoGlobe sur les effets de certaines nanoparticules présentes dans les cosmétiques sur les écosystèmes et indiquent qu'elles sont responsables de l'élimination de certains micro-organismes.

15	Mélanie (ex-AFT)	Alors on sait que plus les nanoparticules sont petites plus elles sont néfastes et euh, les nanomatériaux sont néfastes en fonction de leur taille, de leur forme, de leur nature. Et après on ne sait pas exactement quels sont leurs risques sur la santé et sur l'environnement. On sait juste que les nanoparticules auraient des effets néfastes sur le corps, par inhalation, par contact, par ingestion et donc des recherches ont toujours lieu partout dans le monde pour en savoir plus. Et euh, pour l'environnement, certaines nanoparticules présentes dans les cosmétiques seraient capables d'éliminer les micro-organismes qui jouent un rôle vital dans les éco-systèmes. Voilà

Les élèves ont ainsi donné un aperçu général des nanoparticules et nanomatériaux et de leur toxicité pour l'homme et l'environnement.

8.2.1.2 Des initiatives en matière de réglementation, de financement des recherches en toxicologie ou de veille sanitaire

Enfin, la dernière question posée aux élèves sur les aspects sanitaires et environnementaux des développements des nanotechnologies portait sur les réglementations existantes encadrant la commercialisation et l'utilisation des nanoparticules. Pour y répondre, elles ont utilisé le texte du site de "Novethic", filiale de la caisse des dépôts se présentant comme un média sur le développement durable et un centre de recherche sur l'investissement responsable et la responsabilité sociale des entreprises.

S'appuyant sur ce seul document, les élèves ont mentionné plusieurs initiatives de nature différente dont seules quelques unes avaient directement trait à la mise en place d'un cadre réglementaire.

19	Alice (ex-AFT)	(...) Euh, donc dans de très nombreux pays, il n'y a pas de réglementation. En 2006, il y a eu la création d'un groupe de veille sur euh, les impacts des san... sur les impacts sanitaires liés aux nanotechnologies, hum, donc sous l'égide du haut conseil de la santé publique. Euh, après, dans le cadre du grenelle de l'environnement, il y a eu un projet de loi pour trac... pour la traçabilité des nanomatériaux. Euh... Ensuite il y a eu l'OC...DE, donc c'est l'organisation de coopération et de développement économique, avec des groupes de travail qui ont... enfin, qui veulent financer les tests pour déterminer la toxicité des nanomatériaux. Euh, après il y a eu un programme des nations unies pour l'environnement et les industriels qui financeront les analyses de 14 nanoparticules et pour chaque nanoparticules, il faudra 60 tests de 2 millions d'euros, *(bas)* pour les tests quoi. Et donc voilà.

Les élèves ont ainsi répertorié :

- une initiative de veille sanitaire,
- une initiative pour mettre en place un cadre législatif sur la traçabilité des nanoparticules
- et enfin des initiatives pour mener des recherches sur la toxicité des substances nanos.

Enfin, au moment d'exprimer leur opinion, les élèves ont distingué deux pistes d'actions distinctes : continuer les recherches sur la dangerosité et réglementer l'utilisation et la commercialisation des produits contenant les nanoparticules.

21	Mélanie (ex-AFT)	Ben on pense que déjà, il faut continuer les recherches pour savoir euh, les dangers sur la santé et sur l'environnement
22	Alice (ex-AFT)	Et après pour euh la réglementation bah, bien réglementer parce qu'on ne sait pas trop dans quel objet qu'on utilise quoi... il y a des... Où il y a des nanoparticules et si elles sont nombreuses ou...
23	Chercheure	Donc là vous... Je n'ai pas très bien compris l'argument, vous pouvez le reformuler, juste
24	Alice (ex-AFT)	Bah bien réglementer, il faut bien réglementer l'utilisation et la commercialisation des produits contenant des nanoparticules.
25	Chercheure	Ouais. Et l'argument que vous mettiez en avant, c'était ?
26	Alice (ex-AFT)	C'était euh
27	Chercheure	Vous pouvez reformuler ?
28	Alice (ex-AFT)	Bah *(réfléchit une seconde)* faut faire... faut bien réglementer, parce que comme on ne sait pas les effets néfastes qu'il y a sur l'homme ou l'environnement euh, faudrait savoir dans quel objet il y a des nanoparticules
29	Chercheure	Hum, d'accord.
30	Alice (ex-AFT)	Pas forcément les mettre dans le commerce.

Les élèves argumentent ici leur point de vue en invoquant d'une part l'incertitude entourant les effets des nanotechnologies et d'autre part les difficultés pour savoir à l'heure actuelle quels produits contiennent des nanoparticules.

8.2.1.3 Des possibilités ouvertes pour la médecine et des questions sanitaires mises en avant à plusieurs reprises

Trois questions étaient posées aux élèves pour les aiguiller dans leurs recherches documentaires sur les utilisations en médecine des nanotechnologies :

- Quelles sont les perspectives ouvertes par l'utilisation des nanotechnologies en médecine ?
- Qu'est-ce que la convergence NBIC ?
- Quelles sont les interrogations suscitées par les différentes utilisations des nanotechnologies en médecine ?

L'examen des réponses apportées par les élèves montre qu'au moment de citer des perspectives ouvertes en médecine par les développements des nanotechnologies, l'un des groupes s'est exprimé de façon générale. S'appuyant sur un dossier du CNRS, les élèves ont cité deux types d'applications : celles permettant un meilleur acheminement des substances médicamenteuses vers leurs cibles et celles relatives à la *"reconstitution des cellules du corps humain comme les os, la peau, les vaisseau et le cerveau"*.

37	Lilian (ex-FEBEA)	Alors pour répondre à la première question qui est : quelles sont les perspectives ouvertes par l'utilisation des nanotechnologies en médecine, euh, l'utilisation de ces nanotechnologies en médecine permettront, permet... permettra de, l'acheminement des, des médicaments aux cellules, donc un meilleur acheminement et euh pourquoi pas la recons, la reconstitution des cellules du corps humain, comme la peau, les vaisseaux ou le cerveau... peut-être, on n'est pas sûr. Euh
38	Chercheure	Juste, tu peux nous préciser dans quel document euh vous avez trouvé çà, cette information ?
39	Lilian (ex-FEBEA)	Donc euh sur le site du CNRS.

Les élèves de l'autre groupe, quant à elles, ont proposé des exemples précis : celui de "nanoballes" utilisées par une équipe de Rice University pour détruire des cellules tumorales ou encore celui de nanotubes permettant d'agir volontairement sur l'ADN. Ces exemples ont été extraits d'un texte signé par un ancien sénateur du Rhône, René Trégouët publié sur son site "RT-Flash".

62	Alicia (ex-FSC)	Bah tout d'abord les sites qu'on a recherché, bah RT flash, c'est un site de recherche et technologie et donc on a pris un document principalement basé sur la médecine. C'est *(elle remue les lèvres, murmurant quelque chose d'inaudible)...* C'est un document écrit par René Trégouët, c'est un sénateur du Rhône. Il a été écrit le 15 mai 2004 et donc euh, ils expliquent qu'il y a des nanoballes qui ont été créées contre le cancer. Donc elles sont capables de détruire des types de cancer inopérables et de cibler les tumeurs et de... et ces nanoballes sont liées à des anticorps qui se fixent sur des cellules cancéreuses et aussi dans un deuxième temps, bah ça permet de modifier l'ADN dans les noyaux.
63	Chercheure	Donc ça fait deux choses, vous pouvez le reformuler les de
64	Alicia (ex-FSC)	Bah ça,

65	Samantha (ex-FSC)	Bah ça peut détruire des cellules cancéreuses donc améliorer des cance... enfin guérir des cancers et ça peut aussi 'fin sous forme de nanotube, ça peut... ça peut modifier l'ADN à l'intérieur du noyau. *(Elle regarde sa feuille en faisant la moue puis relève la tête)*. Voilà.

Sur leurs fiches de préparation, les élèves avaient de plus indiqué que les nanotubes de carbone pourraient être utilisés pour l'amélioration de la vectorisation des médicaments. Elles avaient ainsi écrit :

> *"tout nous laisse penser que les nanos tubes pourront un jour servir d'outils d'une incroyable précision pour modifier l'ADN a l'interieur du noyau ou acheminer dans une partie de la cellule, un médicament"*

Par ailleurs, plusieurs élèves semblent accorder de l'importance à cette dimension des débats sur les nanotechnologies. Ainsi, au moment d'exprimer leur opinion, l'exemple des applications en médecine revient à quatre reprises, et pas seulement dans la bouche des élèves travaillant sur les utilisations des nanotechnologies en médecine. Les deux groupes d'élèves s'intéressant à ce thème mettent d'abord l'accent sur l'intérêt de ces développements. L'un des groupes affirme qu'il est important de développer les nanotechnologies pour *"guérir des cancers"*.

104	Chercheure	Donc maintenant, est-ce que vous pouvez nous dire rapidement ce que vous en pensez donc euh, de ce sujet sur lequel vous avez travaillé. Qu'est-ce que vous voulez dire dessus ? Quelle est votre opinion là dessus ? Vous y avez réfléchi ?
105	Samantha (ex-FSC)	Bah ça peut être (*rire nerveux*) ça peut être hyper important parce que ça peut, enfin comme on a dit guérir des cancers, donc ça peut soigner, mais ça peut aussi euh... être négatif ouais.

Quant aux élèves de l'autre groupe à avoir exploré cette thématique, ils écrivent que cela pourra permettre de "*réparer des organes : reins, foie, yeux, vaisseau, peau...*" et que par conséquent c'est "*bénéfique*".

Cette mise en avant des possibilités ouvertes par les nanotechnologies pour la médecine se retrouve dans les propos des élèves ayant travaillé sur les enjeux économiques et sociaux des nanotechnologies. L'un des groupes mentionne ainsi *"l'amélioration des diagnostics des médecins et la mise au point de meilleurs médicaments"* pour défendre le point de vue selon lequel, *"les nanotechnologies présentent des avantages"*.

358	Chercheure	Vous avez fait le tour des réponses euh, que vous vouliez apporter aux questions ? (*Jessica fait oui de la tête*) Est-ce que vous pouvez maintenant nous dire ce que vous en pensez vous euh ?
359	Maïwenn (ex-INRS)	Bah euh, on est pour d'un côté parce que...
360	Chercheure	Pour quoi ?
361	Maïwenn (ex-INRS)	Pour les nanotechnologies, parce que déjà dans la santé ça pourra améliorer la vie. Enfin, la... *(se tournant vers Anna)* comment on dit ? ... La vie. Ouais l'amélioration de la vie, donc il y aura aussi une amélioration des diagnostics des médecins, des médicaments. Ensuite pour l'environnement, donc ça limitera certaines pollutions et euh, comme les transports. On pourra utiliser des énergies euh, moins polluantes. Et ensuite, donc la, l'économie française, elle sera boostée, ça sera la cinquième qui investit le plus.

Enfin, deux élèves de l'autre groupe ayant étudié les enjeux économiques et sociaux du développement des nanotechnologies ont aussi argumenté qu'il était important de les développer en mentionnant les *"avancées"* ou les *"progrès"* annoncés dans le domaine de la médecine.

405	Corentin (ex-ANM)	Euh, en fait c'est le marché, c'est le marché que représentent les nanotechnologies. Après donc on a, sur notre opinion, euh, donc on a vu que la nanotechnologie c'était quand même pas mal parce que ça pouvait développer des nouveaux emplois par exemple euh ça pouvait faire progresser la médecine. Ça coûte énormément d'argent et il faudrait peut-être en, il faudrait peut-être du coup en passer plus, il faudrait peut-être donner plus d'argent pour euh, l'évaluation des risques.

410	Benjamin (ex-ANM)	Euh moi je pense qu'elles *[les nanotechnologies]* sont importantes pour l'évolution parce que c'est des avancées technologiques et médicales, mais que les risques euh, il faudrait les éliminer donc par exemple on les a vus : le traçage....

L'existence d'applications des nanotechnologies pour la médecine est donc quelque chose qui semble peser dans les débats aux yeux d'une partie de la classe. D'ailleurs, plus largement, les questions de santé semblent attirer l'attention de plusieurs élèves. Ainsi, outre ces nombreuses évocations des "avancées pour la médecine", l'un des groupes travaillant sur les rapports entre développements des nanotechnologies et démocratie a affirmé que la santé de l'homme est beaucoup plus importante que le développement des nanotechnologies.

236	Matteo (ex-CFE-CGC)	Donc euh... Et euh pour finir, il faudrait renforcer les recherches sur les risques concernant les nanotechnologies parce que on sait pas encore qu'est-ce qu'ils peuvent provoquer sur la santé des individus, donc euh... Et le site de Sciences et Démocratie, il faisait passer la santé de l'Homme avant le développement des nanotechnologies.
237	Chercheure	D'accord, donc vous, vous êtes d'accord avec cette recommandation de faire passer les recherches sur les risques avant les recherches sur les développements ?
238	Matteo (ex-CFE-CGC)	Oui.
239	Mickaël (ex-CFE-CGC)	Oui.

De même, les élèves de l'un des groupes planchant sur les problèmes de protection des libertés sont aussi revenus sur les possibles effets des RFID sur la santé. Elles ont d'ailleurs remis en avant ces éventuels problèmes sanitaires au moment d'exprimer leur opinion. Nous y reviendrons un peu plus loin.

8.2.1.4 La NBIC, un thème sur lequel les élèves ont récolté peu d'information

Si plusieurs élèves semblent accorder de l'intérêt aux questions de santé, les élèves qui ont travaillé spécifiquement sur les utilisations des nanotechnologies en médecine sont toutefois restés vagues quand ils ont dû détailler à quoi correspondait la NBIC.

Ainsi, pour définir la convergence NBIC, les élèves de l'un des groupes ont utilisé une page du site de l'association Sciences et Démocratie. Ce document est un appel aux internautes

pour qu'ils contribuent à mieux délimiter les questionnements soulevés par la convergence NBIC pour ensuite pouvoir créer un dossier sur ces questions. Ayant utilisé seulement ce document pour répondre à la question, les élèves ont uniquement décliné la signification de l'acronyme en expliquant qu'il s'agit *"d'un carrefour de domaines regroupant les nanos ; la biotechnologies ; l'informatique et les sciences cognitives"*.

40	Chercheure	D'accord.
41	Lilian (ex-FEBEA)	Ensuite, pour répondre à la deuxième question, qu'est-ce que la convergence NBIC, alors la convergence NBIC, c'est un carrefour de domaines. Donc on prend la nanotechnologie, la biotechnologie, l'informatique et les sciences cognitives. Euh...
42	Chercheure	D'accord donc NBIC, ça veut dire nanotechnologie, biotechnologie...
43	Lilian (ex-FEBEA)	biotechnologie, informatique et sciences cognitives.
44	Chercheure	D'accord, c'est le rapprochement entre ces technologies ?
45	Lilian (ex-FEBEA)	Oui.
46	Chercheure	D'accord *(suivi d'un mot incompréhensible)*
47	Lilian (ex-FEBEA)	Euh et on a trouvé ce, c'te réponse sur le site sciences et démocratie.
48	Chercheure	Ils détaillaient pas plus ? Ils restaient là-dessus ?
49	Lilian (ex-FEBEA)	Non

De son côté, l'autre groupe d'élèves a sélectionné une page présentant un projet de recherche financé par la région Rhône Alpes sur l'imaginaire de la convergence NBIC *"La convergence NBIC et ses enjeux"*. Elles en ont tiré que la NBIC *"était un projet de nanotechnologie avec la biologie, l'informatique et la science cognitive."* Elles qualifient aussi cette convergence *"d'intervention industrielle"* et de *"recherche de combinaison"*. On peut ici s'interroger sur le sens que les élèves donnent à ces expressions.

79	Chercheure	Alors vous pouvez nous expliquer donc euh, la convergence NBIC, ce que, ce que vous avez trouvé sur le sujet ? Allez-y.
80	Elina (ex-FSC)	Bah, comme l'a dit l'autre groupe, on a trouvé que la NBIC c'était un projet de nanotechnologie avec la biologie, l'informatique et la science cognitive.
81	Chercheure	Hunhun
82	Elina (ex-FSC)	Que c'est une intervention industrielle et de recherche de combinaisons
83	Chercheure	Pardon, je n'ai pas entendu, est-ce que
84	Elina (ex-FSC)	Que c'est euh, une intervention industrielle et de recherche de combinaison

Deux élèves de ce groupe déclarent également :

- que la NBIC correspond à l'amélioration des capacités physiques ;
- que ces développements posent des problèmes et que *"c'est pas trop maîtrisé encore"*.

Relancées par la chercheure, l'une d'entre elles explique que ces développements visent à *"aider les personnes qui ont des problèmes de santé"* ou qui seraient handicapées.

87	Chercheure	Alors vous pouvez réexpliciter ce que vous (*mot incompréhensible)* exactement ?
88	Elina (ex-FSC)	Bah c'est, la convergence NBIC, c'est l'amélioration des progrès physiques et euh... voilà
89	Chercheure	Donc c'est pour améliorer les capacités, c'est quoi ? Progrès physiques, ça veut dire quoi ? Vous pouvez expliquer euh, par rapport à... expliciter un peu. *(Elina ouvre des grands yeux)*
90	Serena (ex-FSC)	Oui, c'est les progrès que ça peut permettre mais aussi ça souligne les enjeux que ça peut avoir pour la santé.
91	Chercheure	Hunhun
92	Serena (ex-FSC)	Donc oui, il y a les problèmes que ça pose *(mot inaudible)* de l'ADN, *(mot inaudible)* du cerveau, enfin, c'est pas trop maîtrisé encore.
93	Chercheure	Donc l'utilisation des nanotechnologies, des biotechnologies, de l'informatique et des sciences cognitives, cette utilisation groupée des technologies, on sait pas très bien maîtriser ce que ça fait ? C'est çà ?
94	Serena (ex-FSC)	Ben oui, il y a encore des recherches, ils font encore des recherches pour...
95	Chercheure	Et tout à l'heure vous nous avez parlé de ce à quoi ça pouvait servir. Vous pouvez nous redire, j'ai pas très bien compris, ce à quoi ça pourrait servir. Vous avez parlé d'améliorer... Ou juste, qu'est-ce que vous avez compris dans vos documents. Si vous n'avez pas noté, qu'est-ce que vous en avez compris ? *(sourires et rires pas très à l'aise)* (*Elina dit quelque chose d'inaudible)* Non, à quoi ça sert exactement cette convergence NBIC, vous avez dit quelque chose... j'ai pas très bien compris ce que tu voulais dire. Sur les capacités physiques...
96	Serena (ex-FSC)	Bah c'est pour aider les personnes qui ont des problèmes de santé, donc qui sont soient handicapées, à rendre plus fort, enfin.

8.2.1.5 Des questionnements sur l'utilisation des nanotechnologies en médecine parfois ramenés aux questions sanitaires posées par les nanoparticules

Enfin, la dernière question posée aux élèves s'intéressant aux utilisations des nanotechnologies en médecine leur demandait quelles étaient les interrogations suscitées par les différentes utilisations des nanotechnologies en médecine.

À cette question, les élèves de l'un des groupes ont indiqué qu'elles n'avaient pas eu le temps d'y apporter des éléments de réponse. L'une des élèves a toutefois indiqué qu'elle avait lu qu'une certaine peur entourerait *"tout ce qui est à l'ADN"* et l'une de ses camarades a ajouté que des expériences étaient réalisées *"mais il y a rien qui est sûr encore"*.

98	Samantha (ex-FSC)	On sait juste que *(inaudible)*
99	Chercheure	*(à la classe)* S'il vous plaît.
100	Samantha (ex-FSC)	sur les risques de la, des nanotechnologies sur la santé. 'fin...
101	Chercheure	D'accord, vous avez pas eu le temps de
102	Serena (ex-FSC)	Oui, et euh j'ai vu un site de personnes qui savaient pas trop en quoi ça allait consister mais qui avaient peur, par rapport à tout

102	Serena (ex-FSC)	ce qui est l'ADN euh... car c'est quelque chose de très important, on ne sait pas trop, il y a... Il faut se renseigner si c'est, ça peut être des choses néfastes.
103	Alicia (ex-FSC)	Il y a des expériences réalisées mais il y a rien qui est sûr encore, mais il y a tout qui laisse penser que un jour ça pourrait servir d'outil précis pour modifier l'ADN. Pour l'instant on sait pas trop encore.

Par ailleurs, l'autre groupe d'élèves, au moment de répondre à cette question, a utilisé un texte extrait d'un site réalisé dans le cadre des TPE par des élèves de premières S. À l'oral, les élèves ont donc mis en avant l'existence de risques pour la santé et le fait que *"les nanotechnologies peuvent passer à travers des barrières physiologiques et endommager les reins, le foie, les yeux, le cœur..."*. Les élèves ont donc ramené les interrogations soulevées par les utilisations des nanotechnologies dans le domaine de la santé aux questionnements sanitaires suscités par l'utilisation de nanoparticules.

51	Lilian (ex-FEBEA)	Et pour répondre à la troisième question qui sont, qui est quelles sont les interrogations suscitées par les différentes utilisations des nanotechnologies en médecine, euh, donc sur le site du TPE des élèves de première, on a trouvé plusieurs risques pour euh la santé notamment. Comme euh, les nanotechnologies peuvent passer à travers les barrières physiologiques et endommager, par exemple les reins, le foie, les yeux, le cœur. Ces nanotechnologies peuvent passer, vu qu'elles sont très petites par la peau notamment, ce qui engendrerait une, une déterioration...
52	Chercheure	Et donc par rapport aux utilisations en médecine ? C'est quel type d'utilisation qui pose ce genre de question ? Vous avez des indications là-dessus ?
53	Lilian (ex-FEBEA)	Euh... euh non.

Cet accent sur les risques se retrouve, lorsque les élèves ont exprimé leur opinion sur le thème qu'ils avaient étudié. Les deux groupes ont effet mis en avant un problème de "manque de recul" après avoir indiqué que les développements des nanotechnologies en médecine étaient bénéfiques. Le premier des groupes à s'exprimer a par exemple écrit sur ses feuilles de préparation *"comme cela est nouveau, il faut pas non plus trop s'avancer sur le sujet"* et qu' *"il faut plus de recule dans l'avenir si ces nanotechnologies ne comportent aucun risque".*

De même, l'une des élèves du deuxième groupe à avoir travaillé sur les perspectives ouvertes pour la médecine par les nanotechnologies a mis en avant l'importance de développer les nanotechnologies pour *"guérir des cancers"* puis elle a ajouté aussitôt *"ça peut aussi être négatif"* . Une autre élève du groupe a alors renchéri en établissant un lien de causalité entre ces "aspects négatifs" et le fait que la recherche ne serait pas suffisamment avancée.

105	Samantha (ex-FSC)	Bah ça peut être (*rire nerveux*) ça peut être hyper important parce que ça peut, enfin comme on a dit guérir des cancers, donc ça peut soigner, mais ça peut aussi euh... être négatif ouais.
106	Elina (ex-FSC)	Oui ça peut être négatif parce que la recherche elle est pas bien avancée. Enfin, il y a des risques.

Ainsi dans leur prise de position, les deux groupes d'élèves ont opposé les bénéfices des nanotechnologies à leurs risques. Ils semblent par ailleurs, dans les formulations qu'ils ont proposées, imputer ces risques à l'état d'avancement de la recherche.

8.2.1.6 Présentation des RFID

D'autres élèves ont mené leurs recherches documentaires sur les problèmes de protection des libertés. Les trois questions qui devaient les guider étaient les suivantes :

- Qu'est-ce qu'un RFID et quel rapport y a-t-il entre les RFID et les nanotechnologies ?
- Pourquoi certains acteurs critiquent-ils l'utilisation de dispositifs d'identification ou de recueil d'information miniaturisés ?
- Quelles sont les questions que pose l'utilisation des RFID en matière de protection des données transmises ?

Pour présenter les RFID, les élèves ont évoqué :

- la fonction de ces objets, celle d'être une étiquette permettant l'identification à distance ;
- le support physique de transmission de l'information, les ondes radios.

Par ailleurs le premier groupe à s'être exprimé a mentionné que plusieurs technologies existaient : passive ou active.

108	Antoine (ex-CNRS-CEA)	Donc euh pour la première question, donc une RFID, c'est une euh... enfin, c'est une étiquette, avec une puce et une antenne. Donc ça veut dire Radio Frequency Identification. Donc euh, la puce elle contient des données sur euh... par exemple elle peut être rajoutée sur un objet et elle peut contenir des données sur cet objet. Et elle sera... ces données peuvent être lues à distance par euh, par, grâce à un signal radio. Donc par exemple, on peut connaître la position de l'objet ou des données (*suivi d'un mot inaudible*). On a trouvé ça sur RFID F R point org. Donc c'est un organisme français sur les puces RFID et euh, on connaît pas la date d'écriture de l'article ni euh le nom de la personne. Et donc, il y a deux catégories de puces RFID : une puce active qui est dotée d'une alimentation, donc qui peut émettre plus loin et une puce passive qui en fait euh, fonctionne grâce à l'énergie reçue lors de l'émission des ondes radio et donc elle peut émettre à plus courte distance.

L'autre groupe a aussi détaillé les éléments qui composent une radio-étiquette : une puce et une antenne.

146	Marine (ex-AdlT)	Alors euh qu'est-ce qu'un RFID. Ça veut dire radio frequency identification. C'est l'identification par radiofréquence. Ça permet d'identifier et de suivre le cheminement de l'objet ou d'une personne et de connaître ses caractéristiques à distance, grâce à une radioétiquette qui émet des ondes radios, attachée ou incorporée à un autre objet. Donc les radio étiquettes, ça comporte des puces électroniques et une antenne...

Les élèves semblent donc s'être forgé une première idée de ce qu'est un RFID.

En outre, lorsque les élèves de l'un des groupes parlent de ces objets au moment d'exprimer leur opinion, elles s'y réfèrent en les personnifiant. Elles estiment ainsi que les puces "connaissent" notre identité et nos faits et nos gestes.

188	Miriam (ex-AdlT)	Alors nous on a... on a pensé qu'il y avait deux contre et un pour. Déjà nous pensons que ça n'est pas forcément une bonne chose parce que... donc euh, car elles suivent en permanence l'individu.

188	Miriam (ex-AdlT)	Elles connaissent l'identité, toute l'identité de la personne et savent ce que l'on fait, donc on a une perte d'anonymat et d'identité. Enfin, on est plus libre, on est suivi. Aussi on pense que donc euh, il y a des risques éventuels pour la santé, donc notamment avec les radiations, donc les radiations émises par les fréquences et les puces qui sont sous la peau. Donc on ne sait pas vraiment encore euh ce qu'elles peuvent amener à long terme sous la peau. Et après on est aussi pour parce que ça amène le progrès et dans le futur, cela pourrait remplacer tout ce qui est papier d'identité euh... passeport.

L'une de ces élèves parle enfin dans l'extrait précédent des *"radiations émises par les fréquences et les puces"*. Il n'est évidemment pas exclu que cette formulation soit l'effet d'une difficulté d'expression de l'élève à l'oral. Toutefois, on peut aussi s'interroger sur la manière dont elle conceptualise les notions de radiation et de fréquence, et par delà, sur la manière dont cette élève mobilise son bagage de connaissances scientifiques dans cette activité pour donner du sens à ce qu'elle a lu.

8.2.1.7 Traçage, atteintes à la vie privée... Des éléments qui reviennent dans les propos des élèves

Pour répondre à la question : "Pourquoi certains acteurs critiquent-ils l'utilisation de dispositifs d'identification et de recueils d'information miniaturisés ?", l'un des groupes a cité les possibilités d'atteintes aux libertés et les problèmes d'accès à des données personnelles en se référant au contenu d'un document sur la biométrie du site de la Fondation Sciences Citoyennes. Ces élèves ont aussi mentionné que la CNIL estimait que de nouveaux procédés de traçage ne permettaient pas de détecter la présence de mouchards dans les dispositifs informatiques.

113	Chercheure	*(...)* Vous aviez une autre question qui était euh pourquoi certains acteurs portent, enfin, formulent des critiques face à l'utilisation de, de dispositifs d'identification et puis de recueil d'information miniaturisés ?
114	Jonas (ex-CNRS-CEA)	Bah parce que le RFID et les autres dispositifs d'identification, ils ont des avantages mais ils ont aussi des inconvénients. Il y a bah par exemple euh les sciences citoyennes qui a *(inaudible, à cause d'un bruit parasite)* des RFID parce que ça porte atteinte aux libertés individuelles. Ils disent que leur utilisation elle soulève des questions euh donc liées aux libertées individuelles et à l'accès à des informations personnelles et euh sinon, il y a le CNIL qui dénonce aussi, qui dit que les possibilités de traçage ne nous permettent pas de savoir dans un proche avenir si un mouchard est présent ou non dans un dispositif informatique.

De plus, ces élèves ont illustré leur propos par des exemples tirés du site d'information Bastamag et de Wikipédia [22], de parents surveillant les déplacements de leurs enfants grâce à des RFID ou encore de l'utilisation de puces sous-cutanées contenant des informations bancaires pour payer des consommations en boîte de nuit.

22. Wikipédia ne fait pas partie des documents qu'ils ont référencés dans leurs fiches d'évaluation des sources. Ils ont toutefois visiblement utilisé ce site.

124	Antoine (ex-CNRS-CEA)	Par exemple au Japon, des parents mettent des puces sur les habits de leurs enfants pour savoir si ils sont bien allés à l'école, donc on peut se poser des questions sur euh...
125	Chercheure	C'est effectivement utilisé çà ?
126	Antoine (ex-CNRS-CEA)	Oui
127	Chercheure	D'accord
128	Antoine (ex-CNRS-CEA)	Donc si on peut aussi, ça peut servir à d'autres moyens, de tracer les gens ou... Par exemple, à Barcelone, dans une boîte de nuit, ils ont implanté des puces dans les, la peau de leurs clients et qui fait qu'en fait, quand ils passent, il y a une sorte de débit qui se fait donc ils ont des informations bancaires et donc euh ils payent à chaque fois qu'ils passent grâce à leur puce donc euh, ça peut être embêtant aussi au niveau des, des données bancaires et des confidentialités pour...
129	Chercheure	Et d'où est-ce que vous avez tiré ces informations ?
130	Antoine (ex-CNRS-CEA)	Çà c'était sur le site euh. C'était sur un site d'information qui s'appelait Basta et l'autre c'était issu de Wikipédia donc euh... Voilà.

Ces élèves reprennent ensuite ces deux problèmes : celui du traçage des individus et de la protection des données personnelles, lorsqu'ils répondent à la question sur les interrogations posées en matière de protection des données transmises. Ils évoquent en effet le problème d'interception de données personnelles en extrapolant à partir de ce qu'ils ont lu sur le site d'où ils ont tiré les informations sur les RFID. Ils soulignent aussi que le traçage risque d'être généralisé en s'appuyant cette fois sur un article du site d'information Bastamag.

132	Arnaud (ex-CNRS-CEA)	La dernière question, c'est "Quelles sont les questions que posent l'utilisation des RFID en matière de protection des données transmises ?" Euh, on a vu sur le site de RFID FR que tout le monde pouvait lire les informations. Il suffit juste d'avoir un émetteur d'ondes radio pour prélever les informations. Donc il n'y a aucune protection des données, donc tout le monde peut les lire. Et sur le site de basta, un article d'une personne qui s'appelle Ivan. Il dit que à long terme, ça pourra servir à tracer toutes les personnes, quand ce sera généralisé, qu'il y en aura de partout des, du... On pourra tracer tout le monde et savoir tous les objets où ils sont.
133	Chercheure	Ils expliquent pourquoi ils disent qu'ils pensent que ça va être généralisé ? ou ?
134	Arnaud (ex-CNRS-CEA)	Non, ils ne disent pas. Ils disent que c'est juste un danger.
135	Antoine (ex-CNRS-CEA)	Ils ont manifesté en occupant un centre à Valence qui servait justement aux recherches sur le, les RFID entre autres *(fin de la phrase inaudible)*

Les élèves de l'autre groupe ayant travaillé ces mêmes questions ont repéré de leur côté quatre critiques de l'utilisation de dispositifs d'identification et de recueils d'information miniaturisés.

En faisant référence à ce qu'elles ont lu sur Wikipédia, elles parlent d'atteinte à la vie privée, mais aussi de risque d'agression des individus, ciblée en fonction de leurs caractéristiques telles que la nationalité.

148	Marine (ex-AdlT)	Alors pourquoi certains acteurs critiquent l'utilisation : parce que il y a des possibilités d'atteinte à la vie privée. Euh, c'est susceptible de diffuser des informations sur la vie privée. Euh, l'utilisation des informations, ça peut servir à agresser (*elle regarde Miriam et sourit*) euh les individus. 'fin de les classer selon leurs caractéristiques.
149	Chercheure	D'accord, pourquoi agresser ? (*Marine fait signe à Miriam de répondre*)
150	Miriam (ex-AdlT)	Non en fait, ils démontraient que, donc euh, suivant euh l'interprétation de ces caractéristiques qui (sont contenues *? - difficilement audible*) dans les nanotechnologies, et ben on peut agresser les personnes suivant (*mot inaudible*) leur taille, leurs caractéristiques, leur nationalité. Voilà.

Comme nous l'avons déjà indiqué, elles mentionnent aussi les potentiels effets sur la santé dont traitait le rapport de master de logistique comparant les technologies RFID aux codes barres.

151	Marine (ex-AdlT)	Et les RFID, c'est pas prouvé mais c'est... Ça peut créer des perturbations sur les équipements de santé, mais aussi sur l'organisme.
152	Chercheure	C'est... qui disait çà ? Vous pouvez donner des
153	Marine (ex-AdlT)	Ça c'est l'université euh, les élèves de master à l'université.

Enfin, au moment où la chercheure leur demande de récapituler les questionnements qu'elles ont identifiés, les élèves ajoutent l'existence "de questions d'éthique". Elles semblent alors avoir du mal à expliciter ce qu'elles entendent par cette expression.

154	Chercheure	D'accord, vous pouvez nous redire juste les points pour qu'on ait bien en tête les différents
155	Marine (ex-AdlT)	Y a l'atteinte à la vie privée, euh des problèmes de santé, euh, le classement de caractéristiques des individus, et des questions d'éthique.
156	Chercheure	C'est à dire ? Vous pouvez détailler ? Qu'est-ce que vous entendez par là. Enfin, qu'est-ce qu'ils entendent par là ?
157	Marine (ex-AdlT)	(*Silence... Puis elle rit un peu gênée.*)
158	Chercheure	Non, vous *(mot incompréhensible)* ou il y en a qui, dans le groupe qui peuvent réagir ? Non, vous vous souvenez plus ? Si ?
159	Miriam (ex-AdlT)	Euh, on s'était... oui bah s'était toujours pour euh les questions de liberté de (*mot incompréhensible*)
160	Chercheure	Ok. Vous avez des problèmes de libertés, de protection des libertés ?
161	Miriam (ex-AdlT)	Et de sécurité et... parce que il y a des *(sourire gêné)*
162	Chercheure	Ok.
163	Miriam (ex-AdlT)	Des données, voilà des données.

Enfin pour répondre à la dernière question qui leur était posée et qui portait sur la protection des données transmises, ces élèves considèrent l'aspect technique du problème. Elles mentionnent les possibilités de "hackage" des puces sous-cutanées évoquées dans l'article sur les RFID de Wikipédia.

164	Chercheure	Ok et donc pour la dernière question justement qui porte sur la protection des données transmises, quelles sont les questions que ça pose (*Miriam montre sur la feuille un point à mentionner à Marine*), l'utilisation de ces RFID ?
165	Marine (ex-AdlT)	Bah les questions, c'est de savoir si la sécurité des données elle est assez suffisante, parce que il y a un groupe de hackers à New York qui a prétendu avoir clôné les identifications grâce à une sécurité qui était trop souple. Donc ils ont pu avoir des informations.
166	Chercheure	C'est à dire ? Vous pouvez... qu'est-ce qu'ils ont fait exactement ? Vous pouvez juste le reformuler euh ?
167	Anaïs (ex-AdlT)	Bah en gros, ils ont réussi à aller sur le système de sécurité et à avoir toutes les données des personnes qui avaient des puces.
168	Chercheure	D'accord.
169	Anaïs (ex-AdlT)	Donc ça veut dire que si eux, ils ont réussi, ben d'autres pourraient réussir et c'est pas, top *(? - sa voix décline et on devine le dernier mot plus qu'on ne l'entend)*
170	Chercheure	D'accord, vous avez trouvé çà sur quel site ?
171	Miriam (ex-AdlT)	Wikipédia (*sourire des trois filles du groupe*)

Pour finir, lorsqu'ils expriment leur opinion sur le thème qu'ils ont étudié, ces deux groupes d'élèves opposent avantages et inconvénients des dispositifs d'identification et de recueils d'information qui ont été au cœur de leurs recherches documentaires. L'un des groupes estime ainsi que les RFID pourraient être utiles pour tracer des objets et éviter des vols mais que leurs utilisations font planer des menaces sur les libertés.

136	Chercheure	Vous avez encore des choses à nous dire là dessus ou *(Arnaud fait non de la tête)* Non ? Donc maintenant, est-ce que vous pouvez nous dire ce que vous en pensez vous et quelle est votre opinion là-dessus en nous expliquant pourquoi vous pensez çà.
137	Antoine (ex-CNRS-CEA)	Bah, je pense que ça peut être une bonne chose, par exemple pour des colis, pour les marquer. Utiliser çà pour tracer ses colis. Ça peut être utile si euh, en cas de vol d'un objet précieux ou d'un colis pour le retrouver. Mais ça peut être dangereux si on l'étend pour l'homme, ça peut être... ça peut atteindre aux libertés de chacun parce que, 'fin on est tracé, donc c'est ...

Quant aux élèves de l'autre groupe, elles regardent les possibilités de dématérialisation des papiers d'identité comme un *"progrès"* mais pointent aussi les risques éventuels pour la santé et les problèmes de protection des libertés (*"perte d'anonymat et identité"*).

188	Miriam (ex-AdlT)	Alors nous on a... on a pensé qu'il y avait deux contre et un pour. Déjà nous pensons que ça n'est pas forcément une bonne chose parce que... donc euh, car elles suivent en permanence l'individu. Elles connaissent l'identité, toute l'identité de la personne et savent ce que l'on fait, donc on a une perte d'anonymat et

188	Miriam (ex-AdlT)	d'identité. Enfin, on est plus libre, on est suivi. Aussi on pense que donc euh, il y a des risques éventuels pour la santé, donc notamment avec les radiations, donc les radiations émises par les fréquences et les puces qui sont sous la peau. Donc on ne sait pas vraiment encore euh ce qu'elles peuvent amener à long terme sous la peau. Et après on est aussi pour parce que ça amène le progrès et dans le futur, cela pourrait remplacer tout ce qui est papier d'identité euh... passeport.
189	Chercheure	Donc pour vous, c'est un progrès. C'est çà que vous entendez par progrès ?
190	Miriam (ex-AdlT)	Voilà, ça peut amener euh. Ça peut éliminer aujourd'hui tous les papiers d'identité euh passeport et donc éliminer tout ce qui est perte ou vol et
191	Quelqu'un dans l'assistance	Fraude
192	Miriam (ex-AdlT)	Ouais voilà, les fraudes.
193	Chercheure	Ok. Et vous avez des recommandations ou ? Parce que pour le moment on n'a pas entendu beaucoup de recommandations. Si il y avait des recommandations là bas, mais est-ce que sur ce sujet, vous avez des choses qui vous semblent importantes à mettre en œuvre ?
194	Miriam (ex-AdlT)	Revoir oui, tout ce qui est sécurité des, des données confidentielles. Comme les hackers, qu'ils puissent plus... qu'il y ait personne qui puisse refaire cela.

Enfin, d'autres élèves que ceux travaillant précisément sur ce thème ont aussi évoqué les problèmes de protection des libertés. Ainsi, l'un des élèves qui a étudié les enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies a déclaré, au moment d'exprimer son point de vue, qu'il fallait éliminer les risques des développements des nanotechnologies. Il a alors cité en particulier le traçage des individus.

410	Benjamin (ex-ANM)	Euh moi je pense qu'elles sont importantes pour l'évolution parce que c'est des avancées technologiques et médicales, mais que les risques euh, il faudrait les éliminer donc par exemple on les a vus : le traçage....

De plus, comme nous le verrons dans le paragraphe suivant le groupe d'élèves qui, lors du jeu de rôle, avait étudié le cahier d'acteur de la CNIL, a aussi mentionné les problèmes de protection de la vie privée des citoyens pour répondre à une question où il leur était demandé "quels sont les défis posés par les nanotechnologies à nos démocraties". Il semble donc que les questions du traçage et de la protection de la vie privée aient interpellé plusieurs élèves.

8.2.1.8 Des prises de positions en faveur de la participation des citoyens aux choix scientifiques

Au paragraphe précédent, nous évoquions une intervention d'élèves travaillant sur les rapports entre démocratie et développements des nanotechnologies. Deux groupes ont exploré ce thème et ont chacun apporté des éléments de réponse aux trois questions :

- Quels sont les arguments en faveur de la démocratisation des choix scientifiques et technologiques en matière de nanotechnologies ?
- Quels sont les défis que posent les nanotechnologies à nos démocraties ?

– Quelles sont les critiques formulées à l'encontre des procédures de consultation des citoyens qui ont été mises en place jusqu'à aujourd'hui sur les nanotechnologies ?

Au rang des arguments en faveur de la démocratisation des choix scientifiques, les deux groupes d'élèves ont mis essentiellement en avant le fait que les citoyens étaient tous concernés par les développements des nanotechnologies. L'un des groupes a ainsi estimé que les citoyens allaient "subir les conséquences" de ces développements et en premier lieu leurs effets sur la santé et l'environnement.

206	Mickaël (ex-CFE-CGC)	Donc quels sont les arguments en faveur de la démocratisation des choix scientifiques et technologiques en matière de nanotechnologies ? Euh donc pour permettre l'évolution, enfin, le développement des, des nato... des nanotechnologies bah il faut permettre en fait à la société en fait de donner leur propre avis. Concernant bah... Bah çà.
207	Chercheure	Çà ? Les nanotechnologies ?
208	Mickaël (ex-CFE-CGC)	Voilà, des nanotechnologies, tout simplement parce que les citoyens en fait, on va dire qu'ils sont quand même au cœur du débat puisque c'est quand même eux qui sont les premiers à subir les conséquences, donc euh c'est important de connaître ce qu'ils en pensent, enfin voilà, des nanotechnologies.
209	Chercheure	Par conséquence, qu'est-ce que ils entendent dans leur
210	Mickaël (ex-CFE-CGC)	Bah les risques potentiels qui peuvent arriver enfin à leur santé... aux conséquences de santé. Donc euh...
211	Chercheure	Uniquement les risques sur la santé ou il y avait aussi d'autres choses ? Ou c'était pas précisé peut-être ? (*Mickaël secoue la tête en signe de dénégation*)
212	Matteo (ex-CFE-CGC)	Il y avait des risques sur l'environnement aussi.
213	Mickaël (ex-CFE-CGC)	Ouais. Ouais des (*? - mot incompréhensible*)

Ces élèves avaient de plus noté sur leur feuille d'exploitation à la suite de Sciences Citoyennes que

> *"La société doit elle même choisir son evolution elle ne doit pas être imposer par des interet privé."*

Ils n'ont toutefois pas repris cet élément à l'oral.

De leur côté, les élèves de l'autre groupe ont tiré du cahier d'acteur de la Fondation Sciences Citoyennes que les citoyens n'avaient pour l'instant pas de pouvoir d'action sur les nanotechnologies. Ils estiment aussi qu'il faudrait permettre aux citoyens de s'exprimer puisque les citoyens *"sont touchés par les nanotechnologies"*.

260	Damien (ex-CNIL)	Quels sont les arguments en faveur de la démocratisation des choix scientifiques et technologiques en matière de nanotechnologies. Bah il faudrait réunir les avis des scientifiques et des citoyens par rapport aux nanotechnologies et... bah parce que à l'heure actuelle, les citoyens, ils ont pas de pouvoir d'action sur euh le développement des nanotechnologies, donc il faudrait leur permettre de s'exprimer et... euh...
261	Chercheure	Sur quel site vous avez trouvé, ces, ces renseignements ?

262	Damien (ex-CNIL)	Euh celui-là, c'était sur débat public nanotechnologies point org.
263	Chercheure	Donc c'était un des cahiers d'acteurs. C'était
264	Stéphane (ex-CNIL)	Celui-là. Sciences Citoyennes. C'est Sciences Citoyennes.
265	Chercheure	Sciences Citoyennes. Et ils expliquent en quoi c'est problématique que les citoyens ne puissent pas s'exprimer actuellement sur les nanotechnologies ?
266	Damien (ex-CNIL)	Euh (*il retourne la feuille*)
267	Chercheure	Sur... dans les arguments là, que vous nous exposez...
268	Stéphane (ex-CNIL)	Ben
269	Damien (ex-CNIL)	Bah pas vraiment mais ..
270	Stéphane (ex-CNIL)	Ben en quoi c'est problématique, c'est que c'est eux qui sont touchés par ces nanotechnologies. Après euh...
271	Damien (ex-CNIL)	parce qu'ils peuvent pas s'exprimer.

L'importance de démocratiser les choix relatifs aux développements des nanotechnologies en "tenant compte de l'avis des citoyens" est de plus un élément que ces deux groupes d'élèves ont souligné au moment d'exprimer leur avis sur les développements des nanotechnologies.

227	Chercheure	(...) Vous pouvez nous dire ce que vous pensez euh de çà ?
228	Mickaël (ex-CFE-CGC)	Bah moi je pense que c'est important de, ben de connaître l'avis des citoyens, bah parce que on est déjà tous des citoyens, donc on est déjà, bah les premiers concernés. Et aussi pour les futurs consommateurs. *(Laurent et/ou Matteo murmurent quelque chose d'inaudible ; Mickaël acquiesce)* Voilà.

294	Chercheure	(...) Ok, donc maintenant, qu'est-ce que vous en pensez vous, de çà ? Est-ce que vous pouvez nous dire euh ce que vous en pensez ?
295	Damien (ex-CNIL)	Euh... Nous on est pour la démocratisation euh... C'était... On pense bah qu'en démocratie c'est au citoyen de choisir, donner son avis. Et...
296	Chercheure	Et il vous semble que pour le moment c'est pas le cas sur les nanotechnologies ?
297	Damien (ex-CNIL)	Non
298	Stéphane (ex-CNIL)	Non on n'est pas bien impliqué pour l'instant. Ça a pas été suivi correctement. C'est pour ça d'ailleurs, qu'il faut réagir. 'fin pour nous et pour euh, et pour les deux associations.

L'un des membres de ce deuxième groupe d'élèves propose d'ailleurs d'organiser un *"vote"* ou un *"moyen de participation des citoyens"* en cas *"d'innovation importante"*.

303	Chercheure	Et vous avez des recommandations ou pas à faire là dessus *[sur le thème qu'ils ont travaillé]* ou ?

304	Stéphane (ex-CNIL)	Bah...
305	Chercheure	Quelque chose que vous voulez dire ou c'est bon ?
306	Stéphane (ex-CNIL)	Bah s'il y a d'autres innovations importantes. Un moyen de vote, ou au moins de participation pour les citoyens.
307	Chercheure	Ils en... Est-ce qu'il... que vous avez rencontré év... éventuellement des idées de, des moyens pour faire participer les citoyens ou ?
308	Stéphane (ex-CNIL)	Euh non.

Ces élèves semblent en effet indiquer qu'on ne peut pas déléguer aux scientifiques la gestion des problèmes soulevés par les nanotechnologies. Ainsi sur leur fiche de préparation de leur intervention, ils ont inscrit :

> *"- En démocratie, c'est au citoyens de choisir*
> *- Les nanos doivent être gérees démocratiquemt*
> *car = si on laisse gérer les scientifiques, les citoyens risquent d'être surpris."*

Toutefois, malgré l'importance que les élèves accordent à l'implication des citoyens dans les choix scientifiques sur les nanotechnologies, ils nous semblent parfois réduire ces questions à des problèmes de gestion des risques. Ainsi, l'un des groupes d'élèves a ramené la question sur les défis posés par les nanotechnologies à nos démocraties à celle des risques et de leur prise en compte. Ils ont donc répondu en parlant de *"manque de principe de précaution"* et de mise en danger des libertés.

274	Grégoire (ex-CNIL)	Alors ensuite, pour répondre à la deuxième question, qui est quels sont les défis que posent les nanotechnologies à nos démocraties, bah le premier c'est que c'est les risques. C'est le manque, euh, les manques de principe de précaution aux centaines de produits de consommation dopés aux nanotechnologies. Jusqu'à aujourd'hui.
275	Chercheure	Qu'est-ce qu'ils entendent par principe de précaution ? Vous avez des indications là-dessus ? ou...
276	Grégoire (ex-CNIL)	Bah c'est mieux s'informer sur les nanotechnologies.
277	Chercheure	Alors c'était comme çà qu'ils le définissaient sur le site ou ? *(Grégoire fait une moue indiquant qu'il ne sait pas)* Nan ? Vous avez pas noté ?
278	Damien (ex-CNIL)	*(Bas à Grégoire)* Regarde derrière
279	Grégoire (ex-CNIL)	Non.
280	Chercheure	D'accord ok. Vous avez pas de renseignements. C'était qui qui disait çà euh ?
281	Grégoire (ex-CNIL)	C'était aussi débat public mais c'était Fondation Sciences et Démocratie.
282	Chercheure	Fondation Sciences et Démocratie. Vous pouvez donc nous redire exactement c'était quoi la difficulté qu'ils, qu'ils ciblaient euh ? Enfin le défi.
283	Grégoire (ex-CNIL)	Euh c'est... c'est sur tous les produits euh dopés aux nanotechnologies, jusqu'à aujourd'hui, il y a pas eu assez de protection.

284	Chercheure	D'accord. C'est à dire, pas assez de protection ? Vous pouvez expliquer avec vos propres mots ou ? (*Grégoire a l'air mal à l'aise*) Non pas trop ? Ok. Bah c'est pas grave. On continue donc la suite, vous avez d'autres, d'autres difficultés, allez-y, d'autres défis ?
285	Grégoire (ex-CNIL)	C'est euh, d'utiliser la nanotechnologie sans atteindre la vie privée du citoyen.
286	Chercheure	Hunhun
287	Grégoire (ex-CNIL)	Et euh. Voilà.

De même, à la question portant sur les critiques des procédures de consultation des citoyens, ce groupe d'élèves a parlé entre autres d'un manque *"d'investissement sur la sécurité"*.

290	Chercheure	Ouais ? D'accord. Donc maintenant la dernière question euh : quelles sont les critiques qui ont été formulées sur les consultations qui ont déjà été mises en place ? Vous avez des...
291	Damien (ex-CNIL)	Bah on se répète un peu mais c'est que c'est la population elle est toujours pas... Elle est pas assez informée donc euh, bah elle peut pas donner véritablement donner son avis et il n'y a pas assez d'investissement sur les moyens de sécurité, par rapport aux nanotechnologies.

Enfin, deux élèves de l'autre groupe travaillant sur les rapports entre développements des nanotechnologies et démocratie, ont déclaré au moment de présenter la Fondation Sciences Citoyennes que cette organisation *"travaille sur les nanotechnologies pour connaître les risques sur la santé"*.

196	Mickaël (ex-CFE-CGC)	Donc pour répondre à la première question, on est allé sur le site de Sciences Citoyennes, qui est un site euh écrit par... enfin ouais... qui a été écrit par Jacques Testart... (*hésite sur la prononciation*) Testart. Et qui en fait est un site qui euh, qui est là en fait pour étudier les risques en fait, possibles.
197	Matteo (ex-CFE-CGC)	Des technologies sur l'homme et sur l'environnement.
198	Mickaël (ex-CFE-CGC)	Voilà. Voilà donc euh. Pour répondre à la première question.
199	Chercheure	Alors juste, vous avez des informations sur qui c'est Jacques Testard dans cette organisation ou ?
200	Matteo (ex-CFE-CGC)	Bah Sciences Citoyennes, c'est une organisation qui travaille sur les nanotechnologies pour connaître les risques sur la santé
201	Mickaël (ex-CFE-CGC)	sur la santé des Hommes.
202	Matteo (ex-CFE-CGC)	Des individus.
203	Chercheure	*(Laurent semble vouloir parler)* Ouais, tu veux rajouter quelque chose ?
204	Laurent (ex-CFE-CGC)	C'est plus sur euh, la relation entre la société et ce qu'elle pense des nanotechnologies.

La manière dont pourrait être rendue effective la démocratisation des choix scientifiques est donc un questionnement que certains élèves semblent avoir tendance à rapporter à un problème de gestion des risques.

8.2.1.9 De l'importance d'informer les citoyens

Le problème de l'information des citoyens semble aussi avoir marqué les élèves travaillant sur les rapports entre développements des nanotechnologies et démocratie. Les deux groupes d'élèves planchant sur ce thème l'ont ainsi abordé au moment de rapporter les critiques formulées l'encontre des procédures de consultation sur les nanotechnologies qu'ils ont repérées dans leurs documents.

290	Chercheure	Ouais ? D'accord. Donc maintenant la dernière question euh : quelles sont les critiques qui ont été formulées sur les consultations qui ont déjà été mises en place. ? Vous avez des...
291	Damien (ex-CNIL)	Bah on se répète un peu mais c'est que c'est la population elle est toujours pas... Elle est pas assez informée donc euh, bah elle peut pas donner véritablement donner son avis et il n'y a pas assez d'investissement sur les moyens de sécurité, par rapport aux nanotechnologies.

219	Chercheure	(...) Et donc maintenant, la dernière question, c'était euh, quelles sont les critiques qui ont été formulées à l'encontre des procédures de consultation des citoyens qui ont été mises en place jusqu'à aujourd'hui.
220	Laurent (ex-CFE-CGC)	Alors
221		*(Quelqu'un hoquète très fort dans la salle ; rires de l'assemblée)*
222	Laurent (ex-CFE-CGC)	Sciences Citoyennes ils disent euh qu'il y a déjà eu des débats et des consultations mais que elles sont pas très neutres. Bah par exemple, les pro-nanotechnologies... Enfin, les débats ils sont... Il y a eu donc des débats pour demander l'avis de la population mais ils sont déjà arrivés avec l'idée de doubler le budget et c'est ce qu'ils ont fait. Du coup, il y a pas vraiment une prise en compte de l'avis de, de la population. Il y a... ils disent aussi que les débats, il y a pas... Ils sont pas neutres et objectifs car il y a pas le même temps de parole, le nombre de participants il est pas assez élevé, donc c'est pas très représentatif. Et comme le, la population n'est pas assez informée, elle peut pas vraiment avoir son propre avis. Du coup euh, c'est pas...
223	Chercheure	Ok. Juste est-ce que... Donc là c'est par rapport à quel(s) débat(s) ? Ça se référait à certains débats en particulier ?
224	Laurent (ex-CFE-CGC)	*(réfléchissant)* Euh... Je sais plus... c'était en 2009 mais je ne sais plus comment il s'appelait. Il y en a eu plusieurs dans toute la France.

Outre les problèmes d'information de la population, ce dernier groupe a par ailleurs indiqué d'autres éléments. S'appuyant sur un document issu du site de la Fondation Sciences

Citoyennes, ces élèves ont rapporté que des financements venaient d'être débloqués pour développer les nanotechnologies au moment où ont eu lieu les débats. Ils ont aussi cité le problème du petit nombre et de la représentativité des participants prenant part à ces consultations.

Les questions d'information des citoyens ont aussi été évoquées par l'un des groupes lorsqu'il leur a été demandé quels étaient les défis posés par les nanotechnologies à nos démocraties. Les élèves ont alors mis en avant le fait la population n'était pas suffisamment renseignée sur les nanotechnologies et sur leurs risques et que cela rendait difficile de *"savoir ce que pensent les individus"*.

214	Matteo (ex-CFE-CGC)	La deuxième question, c'est quels sont les défis que posent les nanotechnologies à nos démocraties ? Bah dans une démocratie, bah les, la population a le droit de s'exprimer, mais euh, il est difficile de savoir ce que pensent tous les individus... donc euh... Parce que généralement la population n'a pas assez de renseignements sur ces nanotechnologies et ils ne connaissent pas les risques euh qu'elles peuvent engendrer.
215	Chercheure	Donc là, c'était aussi euh la fondation Sciences Citoyennes qui parlait ? *(Mickaël et Matteo acquiescent)* Et donc là pour l'instant l'argument que vous avez repéré c'est donc de dire que tous les citoyens sont concernés c'est çà *(Mickaël et Matteo acquiescent)* ? Notamment à cause des risques. Et là, la difficulté, c'est de dire que
216	Matteo (ex-CFE-CGC)	Bah de chavoir, de savoir ce que pensent chaque individu.
217	Chercheure	D'accord, savoir ce que pensent chaque individu et puis vous avez aussi parlé d'information il me semble ? Ouais ? Dire que les gens sont plus ou moins informés ?
218	Matteo (ex-CFE-CGC)	'fin oui, ils n'ont pas assez de renseignements.

Les élèves répercutent ici des idées qu'ils avaient notées en préparation puisque sur leur fiche d'exploitation du document trouvé sur le site de la Fondation Sciences Citoyennes, ils avaient noté :

> *"- difficulté d'obtenir l'avis réel de la pop (pas assez renseigner)*
> *- La population ne sont pas assez renseigner sur les nanotechnologies et les risques qu'elles peuvent engendrées".*

Enfin, l'information des citoyens a été mise encore une fois sur le devant de la scène, lorsque les élèves ont exprimé leur opinion. Le premier groupe à avoir parlé s'est ainsi déclaré en faveur d'un étiquetage pour permettre aux consommateurs de s'y retrouver.

233	Laurent (ex-CFE-CGC)	Euh, c'est plus une proposition qui a été aussi faite par euh, sur le site Sciences et Démocratie. C'est pour l'étiquetage des produits qui contiennent des nanotechnologies : d'informer les consommateurs des risques et de la présence de nanoparticules pour que le consommateur il puisse lui-même choisir ou non d'acheter les produits qui en contiennent. Donc qu'il y ait une réglementation, que ce soit obligé de l'afficher sur les produits ;

Quant au deuxième groupe, ils ont illustré l'insuffisance d'information des individus en expliquant que jusqu'alors, eux-mêmes n'avaient été informés.

298	Stéphane (ex-CNIL)	Non on n'est pas bien impliqué pour l'instant. Ça a pas été suivi correctement. C'est pour ça d'ailleurs, qu'il faut réagir. 'fin pour nous et pour euh, et pour les deux associations.
299	Chercheure	Et qu'est-ce qui vous fait dire que c'est pas, c'est pas bien appliqué pour le moment ?
300	Stéphane (ex-CNIL)	Bah par exemple, nous on n'a pas été tellement informés, donc euh... À titre d'exemple la...
301	Damien (ex-CNIL)	On les connaît pas assez.
302	Stéphane (ex-CNIL)	À titre d'exemple, l'information des citoyens n'a pas été faite correctement ou totalement, ou...

L'information des citoyens est donc un questionnement que ces groupes d'élèves semblent s'être approprié et dont ils mesurent ici l'importance à l'aune de leur expérience individuelle.

8.2.1.10 Un inventaire d'une multiplicité de secteurs concernés par les nanotechnologies et un accent mis sur la gestion des risques

Deux groupes d'élèves se sont enfin intéressés aux enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies. Trois questions leur ont aussi été posées :

- Quels sont les secteurs industriels concernés ?
- Quelles sont les retombées attendues des nanotechnologies en matière économique et sociale ?
- Quelles sont les questions soulevées par les nanotechnologies en matière économique et sociale ?

Les deux groupes ont répondu à la première question en proposant un inventaire de domaines qui ne s'excluent pas mutuellement. Ainsi le premier groupe a cité en s'appuyant d'une part sur une étude prospective du Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie et d'autre part sur un dossier en ligne sur le site de ce même ministère :

- le secteur de l'électronique
- le secteur pharmaceutique
- la chimie
- le secteur des transports
- les nanomatériaux
- les technologies de l'information (elles ont notamment parlé de possibilités de stockage accrues)
- la santé
- les "écotechnologies"
- les technologies de l'énergie.

311	Chercheure	Vous pouvez les redire (*les secteurs industriels concernés*) fort, pour que tout le monde entende parce que vous êtes passés assez vite.
312	Maïwenn (ex-INRS)	Donc euh l'électronique, le pharmaceutique, chimie, transport et nanomatériaux. Euh ensuite euh, donc euh, on s'en sert dans la technologie de l'information, la santé, les écotechnologies et les technologies de l'énergie.
313	Chercheure	Juste, technologies de l'information, qu'est-ce qu'ils mettent dessous, vous avez des détails ?
314	Maïwenn (ex-INRS)	Euh oui, possibilité de stockage

315	Jessica (ex-INRS)	Et nanomatériaux
316	Chercheure	D'accord possibilité de stockage ? de quoi ?
317	Anna (ex-INRS)	Des microprocesseurs euh...
318	Maïwenn (ex-INRS)	Oui
319	Jessica (ex-INRS)	Technologies de l'information.
320	Chercheure	Ok.

Pour leur part, l'autre groupe d'élèves a répondu à cette question en se référant à un document du site du Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie [23], à un texte issu du "site de l'ultra-propreté" et à un article de Wikipédia.

Ils ont ainsi relevé que le développement des nanotechnologies concernaient :

- le secteur de la construction en permettant la mise au point de matériaux *"économes et performants"*
- le secteur de l'électronique pour lequel les nanotechnologies promettent le développement de moyens de communication *"universels et toujours plus rapides"*
- le secteur des transports
- celui de la pharmacie où les nanotechnologies laissent espérer l'avènement de *"médicaments efficaces et ciblés"*
- le secteur des cosmétiques
- le secteur de l'automobile
- le secteur de l'aéronautique et de l'aérospatial
- le secteur du caoutchouc
- le secteur de l'énergie
- et l'armement.

376	Maxence (ex-ANM)	Donc sur ministère de l'industrie, donc un site gouvernemental, on a vu que les secteurs industriels concernés c'étaient dans la construction, pour des matériaux économes et performants. Dans l'électronique pour une com, des moyens de communication universels et plus rapides, dans le transport, dans la pharmacie, avec les médicaments efficaces et ciblés et dans les cosmétiques (...)

383	Benjamin (ex-ANM)	Alors sur le site de ultra propreté et les nanotechnologies, hum... on a cherché des informations pour répondre à, à la question : quels sont les secteurs industriels concernés ? Donc il y a l'automobile pour l'allègement donc la réduction du poids. Donc le terme d'allègement euh il revient souvent en fait, il va aussi avec le terme de résistance. On essaie d'allier les deux. Euh aussi dans le secteur aéronautique et spatial, dans le caoutchouc aussi, et dans l'énergie et puis le nanotube de carbone, il est 100 fois plus léger que le... que celui d'acier et il est 6 fois plus résistant.
384	Chercheure	Donc l'idée c'est de mettre des nanotubes de carbone dans certains matériaux ?
385	Benjamin (ex-ANM)	Ouais. Ouais ouais. (...)

23. Ce document n'est pas le même que celui que les autres élèves ont utilisé.

De plus, à cette question sur les secteurs industriels concernés par les développements des nanotechnologies, ces élèves ont cité Wikipédia en mettant en avant que certains produits de la marque l'Oréal contenaient des nanoparticules et en mentionnant les problèmes de toxicité de ces substances. Enfin, toujours en se référant à cette encyclopédie, ils ont aussi indiqué que 5% des budgets consacrés aux nanotechnologies allaient à l'évaluation des risques en commentant :*"c'est peu"*.

395	Corentin (ex-ANM)	Alors, (*il sourit*) d'après Wikipédia, on a trouvé un article qui a été écrit en 2011 euh dans lequel on pouvait voir encore plus de secteurs concernés. Donc on a pu en parler comme les cosmétiques qui, notamment pour augmenter l'efficacité euh, l'efficacité. On sait que l'Oréal en utilise actuellement et euh, alors qu'ils s'avèrent être de plus en plus toxiques. Enfin, les nanoparticules utilisées s'avèrent de plus en plus toxiques. Et il faut savoir aussi qu'il y a moins de 5% du budget euh donc euh, du budget sur la nanotechnologie qui est consacrée à l'évaluation des risques et donc c'est peu. On sait aussi qu'en 2000, l'armée française avait déjà euh fait des projets de missiles intelligents, de micro, de micro drones, d'armes chimiques euh, d'armes de très petites armes chimiques aussi. (...)

Ces réflexions sur "les risques" se retrouvent lorsque ces élèves expriment leurs points de vue personnels sur la thématique qu'ils ont étudiée. Ainsi, le premier groupe recommande de ne pas *"aller plus loin sans savoir les risques"* et sur leur fiche de préparation, ces élèves ont mentionné les problèmes de toxicité.

373	Chercheure	(...) Vous voulez encore rajouter quelque chose ? Allez-y.
374	Anna (ex-INRS)	Il faut quand même faire attention aux risques. Donc il faut continuer les recherches concernant les risques. Il faut pas aller plus loin sans savoir les risques.

Quant aux élèves de l'autre groupe, l'un d'entre eux a souligné le coût du développement des nanotechnologies et a demandé qu'une part plus importante des budgets aille à l'évaluation des risques.

405	Corentin (ex-ANM)	Euh, en fait c'est le marché, c'est le marché que représentent les nanotechnologies. Après donc on a, sur notre opinion, euh, donc on a vu que la nanotechnologie c'était quand même pas mal parce que ça pouvait développer des nouveaux emplois par exemple euh ça pouvait faire progresser la médecine. Ça coûte énormément d'argent et il faudrait peut-être en, il faudrait peut-être du coup en passer plus, il faudrait peut-être donner plus d'argent pour euh, l'évaluation des risques.

Enfin, un autre a déclaré qu'il fallait éliminer les risques et notamment ceux liés aux traçage des individus.

410	Benjamin (ex-ANM)	Euh moi je pense qu'elles sont importantes pour l'évolution parce que c'est des avancées technologiques et médicales, mais que les risques euh, il faudrait les éliminer donc par exemple on les a vus : le traçage....

8.2.1.11 Répercussion de discours institutionnels sur les avancées pour "le confort", "la vie" et les perspectives économiques

La deuxième question guidant les recherches documentaires des élèves sur les enjeux économiques et sociaux des nanotechnologies portait sur les retombées attendues des nanotechnologies en matière économique et sociale.

Pour y répondre, les deux groupes d'élèves ont relevé des discours officiels provenant du Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie ou de la Commission Européenne sur les applications "pour le confort" des individus[24] et les retombées économiques de ces développements.

Ainsi l'un des groupes, en s'appuyant sur un dossier mis en ligne par la Commission Européenne, explique :

- que les nanotechnologies peuvent permettre d'améliorer la santé humaine,
- qu'elles pourraient *"contribuer à la société de l'information"* c'est à dire au développement d'ordinateurs plus puissants et d'appareils électroniques,
- qu'elles pourraient permettre de développer des matériaux intelligents.

322	Jessica (ex-INRS)	Euh donc dans quelles sont les retombées attendues des nanotechnologies en matière économique et sociale, euh, on a lu que ça pouvait permettre d'améliorer la santé humaine, comme avec l'utilisation de biopuces ou... euh... ou de biocapteurs... Et ça pouvait contribuer à la société de l'information *(n'a pas l'air convaincue en prononçant ces derniers mots)*
323	Chercheure	Société pardon ? de quoi ?
324	Jessica (ex-INRS)	Contribuer à la société de l'information.
325	Chercheure	Qu'est-ce que vous entendez par société de l'information ?
326	Jessica (ex-INRS)	Des ordinateurs plus puissants ou des appareils électroniques
327	Chercheure	Donc euh, contribuer, ça veut dire donner des outils pour aller dans ce sens là ?
328	Jessica (ex-INRS)	Oui
329	Chercheure	Donc là c'est des retombées que vous qualifieriez d'économiques ? de sociales ?
330	Maïwenn (ex-INRS)	De confort
331	Chercheure	De confort personnel des gens ?
332	Maïwenn (ex-INRS)	Oui
333	Jessica (ex-INRS)	Bah oui
334	Anna (ex-INRS)	économique aussi.
335	Chercheure	Allez-y.
336	Jessica (ex-INRS)	Et de développer des matériaux intelligents aussi.

Par ailleurs en se référant à une page du site du Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie, ce groupe d'élèves a également rapporté que les nanotechnologies pourraient être à l'origine de la création d'emplois directs pour plus de deux millions de personnes et

24. pour reprendre les termes qu'emploient l'une des élèves

qu'elles devraient représenter un marché d'un billion de dollars en 2015. Sur leurs fiches elles ont ainsi écrit :

> *"Pourrait générer de l'emploi direct de + de 2 $\bar{M}$ de pers.*
> *Devrait rapporter 1B de dollars en 2015"*

De son côté, le deuxième groupe d'élèves, en s'appuyant sur une autre page du site du Ministère de l'économie datant de 2008, souligne que des emplois pourraient être générés en France et indique qu'en 2010, le marché mondial des nanotechnologies avoisinerait les mille milliards d'euros. Ils répercutent aussi l'expression de "prochaine révolution industrielle".

376	Maxence (ex-ANM)	(...) on a vu que ça engendrait euh... 1000 milliards d'euros en 2010 dans, au monde et que c'était un des moteurs de la prochaine révolution industrielle.
377	Chercheure	Le terme de révolution industrielle, c'est, c'était sur le site ou c'est vous qui l'employez ?
378	Maxence (ex-ANM)	Oui, c'est sur le site. Et euh, donc c'est les nanotechnologies, c'est euh, c'est l'outil de base pour euh demain, dans le futur. Et que, ils se développent beaucoup dans le monde et euh générent des emplois en France, 'ce que y a beaucoup d'industries qui s'en servent.

Sur leur fiches de préparation, ces élèves avaient aussi énuméré les noms de plusieurs pays engagés dans le développements des nanotechnologies : États-Unis, Japon, Corée, Chine, Inde et noté que le développement des nanotechnologies *"donne du travail aux pays émergents"* que sont la Chine et l'Inde.

Hormis cet écho aux discours officiels sur les retombées économiques et les avancées pour "le confort" des individus, l'un des groupes d'élèves a aussi souligné que les nanotechnologies sont partout. L'élève porte-parole du groupe illustre cette affirmation en parlant de pneumatique, de crème solaire et d'"apport physique". Cette dernière expression assez vague n'est toutefois pas explicitée par l'élève.

385	Benjamin (ex-ANM)	(...) Après il y avait la question quelles sont les retombées attendues des nanot, des nanotechnologies en matière économique et sociale ? Donc euh on les trouve partout donc dans la pneumatique, dans la crème solaire, l'apport physique. (...)

Enfin les élèves de ce groupe ont aussi indiqué, en utilisant l'article de Wikipédia, que les nanotechnologies pourraient peut-être être la source de mutations et permettre qu'il y ait "des hommes remplacés par des robots". L'élève porte-parole du groupe précise toutefois à l'oral qu'il reste prudent face à cette affirmation.

395	Corentin (ex-ANM)	(...) Euh pour répondre aux, à la question sur les retombées attendues euh, il y a des gens qui se posent des questions sur euh, sur le devenir de la nanotechnologie, à savoir est-ce que plus tard il pourrait y avoir des mutations, des hommes remplacés par des robots. C'est un peu vite dit, mais on a vu des choses comme çà. (...)

Ces discours sur les retombées "avantageuses" des nanotechnologies sont repris par tous les élèves ayant travaillé sur les enjeux économiques et sociaux, au moment où ils expriment leurs points de vue sur ce thème.

Les trois premières élèves à prendre la parole mettent ainsi l'accent sur les possibilités d'amélioration des diagnostics des médecins, sur la mise au point de médicaments plus performants. Elles parlent *"d'amélioration de la vie"* et déclarent aussi que des utilisations des nanotechnologies permettront de limiter certaines pollutions.

358	Chercheure	Vous avez fait le tour des réponses euh, que vous vouliez apporter aux questions ? (*Jessica fait oui de la tête*) Est-ce que vous pouvez maintenant nous dire ce que vous en pensez vous euh ?
359	Maïwenn (ex-INRS)	Bah euh, on est pour d'un côté parce que...
360	Chercheure	Pour quoi ?
361	Maïwenn (ex-INRS)	Pour les nanotechnologies, parce que déjà dans la santé ça pourra améliorer la vie. Enfin, la... *(se tournant vers Anna)* comment on dit ? ... La vie. Ouais l'amélioration de la vie, donc il y aura aussi une amélioration des diagnostics des médecins, des médicaments. Ensuite pour l'environnement, donc ça limitera certaines pollutions et euh, comme les transports. On pourra utiliser des énergies euh, moins polluantes. Et ensuite, donc la, l'économie française, elle sera boostée, ça sera la cinquième qui investit le plus. *(Jessica lui chuchote quelque chose)* Oui.
362	Chercheure	Donc ça c'est vous qui trouvez çà bien que ce soit, que c'est çà que
363	Jessica (ex-INRS)	Bah si ça a de l'avenir, oui.

Cet accent sur l'importance des retombées attendues des nanotechnologies se retrouve aussi chez les élèves de l'autre groupe. Pour justifier leurs points de vue, deux d'entre eux ont, comme nous l'avons déjà signalé, cité les applications en médecine des nanotechnologies, l'un en déclarant qu'il avait vu que *"ça pouvait faire progresser la médecine"*, l'autre que les nanotechnologies *"c'est des avancées technologiques et médicales"*. Le troisième élève a, lui, repris à son compte le terme de *"révolution industrielle"*.

409	Maxence (ex-ANM)	Euh, moi je pense bah que les nanotechnologies, c'est l'avenir parce que c'est, ça sera très important, c'est la troisième révolution industrielle et ça augmentera (? - *mot un peu difficile à comprendre*) un gros chiffre d'affaire et beaucoup d'emplois.

– Comme le montre cet extrait des présentations des élèves, les perspectives d'emplois et les retombées économiques ont également été évoquées. Un autre élève de ce même groupe souligne aussi l'importance du marché des nanotechnologies et la manne d'emploi qu'elles représentent. Sur sa feuille on peut lire :

"• Les nano technologie font parti de l'avenir
Argument(s) :
→ - developpement, nouveau emploi

→ - *progrès médicale*
→ - *coutent enormement d'argent*
- *de 5% des finance consacré à la recherche des risque mettre plus de budget dedans"*

Enfin, les trois premières élèves à s'être exprimées sur les enjeux économiques et sociaux ont également affirmé que *"l'économie française sera boostée"* et ont mis en avant que la France *"sera le cinquième pays qui investit le plus au niveau mondial"*.

8.2.1.12 Les interrogations en matière économiques et sociales ramenées à un ensemble d'interrogations génériques sur les "risques", les "problèmes éthiques", "la course à l'armement", "le principe de précaution"...

La dernière question posée aux élèves travaillant sur les enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies portait sur les interrogations soulevées par les nanotechnologies en matière économique et sociale.

Les élèves qui sont intervenues les premières se sont référées au contenu d'un dossier du Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie pour répondre. Elles sont alors restées très générales parlant de :
- de problèmes sanitaires,
- de problèmes éthiques,
- de gestion des risques industriels et
- d'application du principe de précaution.

337	Anna (ex-INRS)	Et la dernière question, euh... Bah quelles sont les questions soulevées par les nanotechnologies ? Donc il y a l'aspect sanitaire et éthique. Il y a la gestion des risques industriels, industriels, et le principe de précaution.
338	Chercheure	Alors le principe de précaution pareil... Qu'est-ce que vous entendez là-dessous ?
339	Anna (ex-INRS)	Bah faut faire attention quand même.
340	Chercheure	C'est à dire ?
341	Anna (ex-INRS)	Bah on ne sait pas tous les risques que çà... qu'il peut y avoir
342	Chercheure	Hum...
343	Jessica (ex-INRS)	Continuer les recherches.
344	Anna (ex-INRS)	Ouais il faudrait continuer les recherches pour être sûrs des conséquences.

De leur côté, les élèves du deuxième groupe ont utilisé un article de Wikipédia sur les *"débats des nanotechnologies"* et en ont tiré également une liste d'objets de discussion. Ils ont ainsi mentionné l'existence
- d'un débat sur les risques pour l'homme
- d'un débat sur l'éthique
- d'un débat sur la vie privée
- et enfin que les nanotechnologies pourraient être un *"nouvel avatar de la course aux armements"*.

395	Corentin (ex-ANM)	(...) Et ensuite pour les questions soulevées par les nanotechnologies en matière économique et sociale, euh il y a toujours un grand

395	Corentin (ex-ANM)	débat euh des risques sur l'homme, euh un débat sur l'éthique, un débat sur la vie privée, sur la trahison de la vie privée, avec le traçage et tout çà et euh, c'est, ça peut aussi être l'objet d'un nouvel euh, de, l'objet de euh d'un nouvel avatar de la course aux armements.
396	Chercheure	Aux ? pardon ?
397	Corentin (ex-ANM)	Aux armements.
398	Chercheure	Donc ça c'était sur Wikipédia que vous avez ce, ce dernier point là.
399	Corentin (ex-ANM)	Ouais
400	Chercheure	Et donc en matière économique, vous avez trouvé des questions ? Qu'est ce que vous trouvez comme
401	Corentin (ex-ANM)	En matière économique, on a donc vu le budget qui était consacré à l'évaluation des risques qui est très très petit.
402	Chercheure	Par rapport à quoi ?
403	Corentin (ex-ANM)	Euh par rapport aux budgets, aux budgets déjà que ça représente, déjà la nanotechnologie, à savoir (*il se tourne vers Maxence*) 1000 milliards d'euros.
404	Chercheure	Par rapport au... 1000 milliards d'euros pour quels pays ?
405	Corentin (ex-ANM)	Euh, en fait c'est le marché, c'est le marché que représentent les nanotechnologies. (...)

Par ailleurs, ce groupe d'élèves a aussi tiré des éléments du site "de l'ultra-propreté" proposé par une entreprise analysant les marchés de "haute-technologie". Ils ont alors mis en avant :

- qu'il s'agit peut-être d'une troisième révolution industrielle
- qu'il y a *"des actions dont le but est la miniaturisation des dispositifs électroniques"* et enfin
- qu'il y a une frontière *"dont il est la réalité et la frontière scientifique"*.

Sollicité par la chercheure pour expliciter cette dernière affirmation, l'élève porte-parole a alors expliqué, après hésitation, que ça n'est *"pas encore assez avancé"*.

385	Benjamin (ex-ANM)	(...) Et quelles sont les questions posées par les nanotechnologies en matière économique et sociale ? Alors il y a... y a... C'est peut-être le début d'une nouvelle, d'une troisième révolution industrielle. Euh, il y a des actions dont le but euh est la miniaturisation des dispositifs électroniques, mais il y a une frontière dont il est la réalité et la frontière scientifique.
386	Chercheure	D'accord donc euh, donc là, la, la question que ça pose, c'est ? Vous pouvez la reformuler ?
387	Benjamin (ex-ANM)	Quelles sont les questions posées par les nanotechnologies ?
388	Chercheure	Non, la question que ça pose, le dernier point que vous mettiez en avant.
389	Benjamin (ex-ANM)	Euh, la frontière euh
390	Chercheure	Ouais.

391	Benjamin (ex-ANM)	La frontière scientifique
392	Chercheure	Quelle est la question que ça pose ? Vous pouvez le reformuler ou ? (*Benjamin semble ne pas savoir quoi dire*) Quand vous dites çà, quelle est la frontière scientifique ? Qu'est-ce que vous voulez dire exactement ? Vous pouvez juste nous redire exatement ce
393	Benjamin (ex-ANM)	C'est pas encore assez avancé.

Finalement, pour répondre à cette question leur demandant quelles étaient les interrogations soulevées par les nanotechnologies en matière économique et sociale, les élèves ont fait référence à plusieurs volets de questionnement généraux : les problèmes sanitaires et la gestion des risques, les problèmes éthiques et notamment ceux liés à la protection de la vie privée, l'utilisation des nanotechnologies pour l'armement. Ils ont aussi proposé d'autres éléments comme par exemple "les actions dont le but est la miniaturisation des dispositifs électroniques".

8.2.2 Confrontation entre les productions des élèves et le contenu des documents

Pour tenter de caractériser plus finement comment les élèves ont compris certaines facettes de la controverse mais aussi et surtout comment les élèves ont mis à distance des discours qu'ils ont étudiés, nous avons confronté les propos et les écrits des élèves avec le contenu des documents.

Nous avons ainsi repéré quels étaient les éléments qu'ils avaient retenus et restitués à l'oral. Dans ce qui suit, nous ne reviendrons pas sur la sélection opérée par les élèves dans les documents qu'ils ont consultés, puisque nous avons déjà rendu compte de ce que les élèves avaient mis en avant dans leurs présentations.

Nous avons également identifié certains glissements entre le contenu du document et la manière dont les élèves en rendaient compte.

Enfin, nous avons aussi décelé certains ajouts apportés par les élèves, soit sous forme de commentaire, soit sous forme d'informations nouvelles qui ne figuraient pas dans les pages web mentionnées parmi leurs sources.

8.2.2.1 Glissements entre le contenu du document et la manière dont les élèves en rendent compte

Les élèves d'un des groupes travaillant sur les questions de protection des libertés ont opéré un déplacement de la discussion sur les effets pour la santé des RFID.

Les deux documents qu'elles ont sélectionnés (article Wikipédia et Mémoire de master comparant codes barres et RFID) traitaient bien de ce thème [25]. Toutefois, alors que le mémoire de logistique indiquait l'existence d'une discussion sur les critères de régulation de

25. Ainsi, dans l'article de Wikipédia, il est écrit dans le paragraphe discutant des éventuels problèmes sanitaires :

> *"**Risques***
>
> *Les technologies de radio-identification pourraient s'avérer dangereuses pour l'individu et la société (ex : santé et protection de la vie privée)[18], avec :*
>
> *(...)*
>
> *- Génération de signaux radio-fréquences pourraient s'avérer dangereux pour la santé (effets suspectés d'un smog électromagnétique croissant...) et cancers dans le cas d'expériences sur la souris[19] ou interférant avec le fonctionnement des appareils bio-médicaux[20]. L'AFSSET recommande de poursuivre la veille scientifique sur la recherche d'effets biologiques des rayonnements liés au RFID, dans un rapport publié le 26 janvier 2009[21].*

18 Dossier futura-sciences [archive]

19 Les puces RFID à l'origine de cancers chez les souris [archive]

la puissance d'émission des lecteurs de RFID permettant d'éviter des perturbations sur les équipements de santé ou sur l'organisme humain, les élèves ont noté :

> *" - Peut crée des pertubation sur les équipement de santé mais aussi sur l'organisme humain*
> *pas prouver"*

Les élèves ont ainsi substitué une discussion sur le caractère "prouvé" ou non du danger lié au rayonnement émis par ces puces [26], à la discussion présente dans le document qui portait sur la manière de prendre en compte les perturbations électromagnétiques créées par les lecteurs de RFID.

À l'oral, les élèves reprennent d'ailleurs ces éléments en disant :

151	Marine (ex-AdlT)	Et les RFID, c'est pas prouvé mais c'est... Ça peut créer des perturbations sur les équipements de santé, mais aussi sur l'organisme.

Ce type de glissement où les élèves déplacent le débat se retrouve lorsqu'un des groupes travaillant sur les enjeux économiques et sociaux des nanotechnologies mentionne le "rang de la France" dans la course au développement des nanotechnologies. Au moment d'exprimer leur opinion sur le thème qu'elles ont exploré, les élèves se déclarent "pour les nanotechnologies" et l'un de leurs arguments met en avant les retombées pour l'économie française.

361	Maïwenn (ex-INRS)	(...) ensuite, donc la, l'économie française, elle sera boostée, ça sera la cinquième qui investit le plus. *(Jessica lui chuchote quelque chose)* Oui.
362	Chercheure	Donc ça c'est vous qui trouvez çà bien que ce soit, que c'est çà que
363	Jessica (ex-INRS)	Bah si ça a de l'avenir, oui.
364	Chercheure	Par contre vous disiez que c'était la cinquième... Où est-ce que vous avez trouvé cette information euh ?
365	Jessica (ex-INRS)	C'était sur le site euh...
366	Maïwenn (ex-INRS)	(*elle fouille dans les feuilles et, s'adresse à voix basse à Anna)* C'est çà ?
367	Anna (ex-INRS)	(*Bas*) Non

20 van der Togt R, Jan van Lieshout E, Hensbroek R, Beinat E, Binnekade JM, Bakker PJM, Electromagnetic interference from radio frequency identification inducing potentially hazardous incidents in critical care medical equipment [archive], JAMA, 2008 ;299 :2884-2890

21 Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail [archive] - AFSSET, 26 janvier 2009 [PDF]"

Quant au mémoire de master rédigé par des étudiants en logistique de l'université de Picardie on peut y lire :

> *"**Les interrogations sur l'impact de la radio fréquence sur la santé***
> *Cette question fait débat depuis quelques années, au particulier concernant les portiques d'antivol et les téléphones portables. Les étiquettes passives ne présentent aucun risque quel que soit leur nombre puisqu'elles ne sont actives que lorsqu'elles se trouvent dans le champ d'un lecteur. Les études portent donc essentiellement sur les lecteurs et visent à définir les critères de régulation de leur puissance d'émission afin d'éviter qu'ils ne créent des perturbations sur les équipements de santé tels que les pacemakers, mais aussi sur l'organisme humain."*

26. D'ailleurs ici la précision sur la distinction entre puces actives et passives qu'opère les étudiants de Master dans leur mémoire n'apparaît plus.

368	Jessica (ex-INRS)	du gouvernement.
369	Chercheure	Et donc ils disaient quoi exactement par rapport à la place de la France dans la compétition euh...
370	Jessica (ex-INRS)	Bah qu'au niveau européen, c'était le 2ème pays à investir le plus dans les nanotechnologies et au niveau mondial, c'était le 5ème.

Les élèves déclarent ainsi qu'au niveau européen, la France était *"le 2ème pays à investir le plus dans les nanotechnologies et au niveau mondial, c'était le 5ème."* Ici, les élèves se sont inspirées d'un passage d'un document du Ministère de l'économie, des finances et de l'industries [27], mais elles ont assimilé à l'oral et à l'écrit le 5ème rang mondial de la France *"en terme de nombre de publications dans le domaine des nanosciences"* à un 5ème rang mondial en matière d'investissements dans les nanotechnologies.

Les élèves gomment donc certains aspects du fonctionnement de l'activité scientifique en réduisant le discours du Ministère de l'économie à un discours sur les investissements : il ne s'agit pas ici seulement d'une course aux investissements mais également d'une course à la publication, à la "valorisation de la recherche".

Un autre déplacement de la discussion a eu lieu lorsque l'un des groupes d'élèves a répondu à la question sur les retombées attendues des nanotechnologies en matières économique et sociale à la compétition pour le développement des nanotechnologies. Ils ont ainsi tiré d'un document produit par le Ministère de l'économie des finances et des l'industrie :

> *"marché mondiale de l'ordre de 1000 milliard d'euro en 2010*
> *un des moteur de la prochaine revolution indus.*
> *outil de base de l'inovation de demain*
> *des nombreux pays les soutiennent déjà, environnementalement et durablement (ex : USA, Europe, Japon, Corée), pays emmergent (Chine, Inde).*
> *→ il se developpe dans le monde entier, donne du travail au pays emmergent.*
> *Il génere aussi de nb emploi en France"*

La déclaration selon laquelle "les nanotechnologies donnent du travail aux pays émergents" proposée par les élèves ne figure pas telle quelle dans le document utilisé par les élèves. La mention des cas de l'Inde et de la Chine est en effet là non pour souligner les perspectives d'emplois que ces technosciences génèrent dans ces pays, mais pour indiquer qu'ils *"s'inscrivent comme acteurs de rang 1 dans ce marché et tirent les prix vers le bas"*[28]. Il nous semble donc

27. Dans le paragraphe intitulé "le positionnement de la France dans le domaine des nanotechnologies" du document d'où les élèves tirent ces information, on peut lire :

> *"L'effort financier de la France dans le domaine des nanotechnologies place le pays au 2ème rang européen derrière l'Allemagne. La France se classe au 5ème rang mondial en terme de nombre de publications dans le domaine des nanosciences. Les États-Unis sont actuellement leader en matière d'investissement dans ce domaine, ainsi qu'en terme de production scientifique et de valorisation de la recherche."*

28.

> Dans l'extrait auquel ils font référence il est en effet écrit :
> *"Déjà utilisées dans plusieurs secteurs industriels – construction, électronique, transport, pharmacie et cosmétique – ces technologies représenteront un marché mondial de l'ordre de 1 000 milliards d'euros en 2010. De nombreux pays (Etats-Unis, Europe, Japon, Corée), conscients de ce potentiel, soutiennent massivement et durablement leur développement. Depuis quelques années, les pays émergents (Chine, Inde) s'inscrivent comme acteurs de rang 1 dans ce marché et tirent les prix vers le bas.*
> *Considérées comme les outils de base de l'innovation de demain, leurs applications ont d'ores et déjà des incidences dans la vie de chacun et devraient contribuer au maintien ou à la croissance de l'activité dans la plupart des secteurs manufacturiers.*
> *Des moyens de communication universels et toujours plus rapides, des médicaments efficaces*

qu'ici, les élèves déplacent le débat. Au lieu de parler du climat de compétition internationale qui règne dans cette sorte de course à l'innovation, ils ont noté quelque chose de relatif à la création d'emplois dans les pays émergents.

Enfin, nous avons déjà signalé que certains élèves travaillant sur les rapports entre développements des nanotechnologies et démocratie avaient eu tendance à ramener ces questions à un problème de gestion des risques.

Nous avons ainsi déjà indiqué au paragraphe *8.2.1.8,* que lors de la présentation de leurs documents à l'oral, deux des élèves avaient déclaré que la Fondation Sciences Citoyennes étudiait les risques sanitaires et environnementaux. Pourtant, dans la page de présentation de l'association les missions présentées concernent l'appropriation par les citoyens des développements scientifiques et techniques [29] et cette organisation appelle, entre autres choses, à développer des travaux dans des directions délaissées par les orientations scientifiques dominantes. Les élèves ont donc opéré un déplacement de la discussion en déclarant que cette association se consacre à l'étude des risques.

Cette focalisation sur les questions sanitaires et environnementales se retrouve dans la suite de leur intervention, lorsqu'ils répondent à la question : quels sont les arguments en faveur de la démocratisation des choix scientifiques et technologiques en matière de nanotechnologies ? Les élèves ont alors avancé à l'oral un argument : celui selon lequel les citoyens sont tous concernés par les nanotechnologies puisqu'ils subiront inéluctablement les "conséquences" de ces développements (voir paragraphe8.2.1.8). Les élèves explicitent alors que par "conséquences", ils font référence aux possibles problèmes sanitaires et environnementaux. Il n'est toutefois pas précisé dans le texte sur lequel ils s'appuient que ces problèmes seraient les seuls soulevés par les nanotechnologies [30]. La Fondation Sciences Citoyennes indique ainsi que

---

et ciblés, des matériaux économes et performants, verront le jour. Des solutions aux problèmes majeurs que présentent la gestion des ressources naturelles et les défis environnementaux sont parmi les retombées attendues les plus prometteuses."

29.

Sur la page de présentation de cette association, on peut lire :

"La Fondation Sciences Citoyennes a pour objectif de favoriser et prolonger le mouvement actuel de réappropriation citoyenne et démocratique de la science, afin de la mettre au service du bien commun.

Elle se donne notamment pour objectifs :

- L'accroissement des capacités de recherche et d'expertise de la société civile, des forces associatives, consuméristes, syndicales et citoyennes. Nous appuierons la constitution d'un tiers secteur scientifique, répondant mieux à des besoins sociaux et écologiques croissants et négligés par les orientations scientifiques dominantes, qu'elles soient le fait de l'Etat ou de l'industrie privée.

- la stimulation de la liberté d'expression et de débat dans le monde scientifique, l'appui aux lanceurs d'alerte et le développement de controverses publiques et de "forums hybrides" sur les enjeux à forte technicité scientifique. Loin des peurs frileuses des interventions du public et des logiques technocratiques, le pluralisme et la controverse sont la source non seulement d'une meilleure exploration des mondes possible et, partant, de meilleures décisions, mais aussi d'une appropriation active des connaissances scientifiques par le public.

- de promouvoir l'élaboration démocratique des choix scientifiques et techniques. Nous favoriserons la mise en débat public des politiques publiques en matière de recherche, de technologie et d'organisation de l'expertise. Nous mènerons également l'analyse vigilante des nouveaux dispositifs délibératifs qui se multiplient afin de soutenir ceux qui favorisent une véritable démocratie technique."

30. On peut ainsi lire dans le document :

Comme dans d'autres secteurs technoscientifiques présentés comme susceptibles, et même souvent seuls capables, d'améliorer le sort de l'humanité, ce sont surtout des intérêts économiques qui imposent le développement de l'innovation. Cette situation fait courir des risques majeurs à l'intégrité de l'espèce et ne peut être résolue que par la reconnaissance du droit et de la capacité des citoyens à décider de leur avenir. Pour cela des procédures de gestion démocratique de la

le développement des nanotechnologies tel qu'il s'opère actuellement *"fait courir des risques majeurs à l'intégrité de l'espèce*". Les élèves ont donc réduit ces risques pour *"l'intégrité de l'espèce"* à des risques pour la santé et l'environnement.

Enfin, cet effet de réduction de la controverse se retrouve à nouveau lorsque ces élèves abordent le problème de l'information des citoyens pour permettre leur participation aux débats. Les élèves parlent ainsi d'une méconnaissance par la population des risques que les nanotechnologies pourraient engendrer.

214	Matteo (ex-CFE-CGC)	La deuxième question, c'est quels sont les défis que posent les nanotechnologies à nos démocraties ? Bah dans une démocratie, bah les, la population a le droit de s'exprimer, mais euh, il est difficile de savoir ce que pensent tous les individus... donc euh... Parce que généralement la population n'a pas assez de renseignements sur ces nanotechnologies et ils ne connaissent pas les risques euh qu'elles peuvent engendrer.

Ils répercutent ici des idées qu'ils avaient notées en préparation puisque sur leur fiche d'exploitation du document trouvé sur le site de la Fondation Sciences Citoyennes, ils avaient écrit :

> *"- difficulté d'obtenir l'avis réel de la pop (pas assez renseigner)*
> *- La population ne sont pas assez renseigner sur les nanotechnologies et les risques qu'elles peuvent engendrées".*

Toutefois, dans le document cité parmi leurs sources par les élèves, nous n'avons pas repéré de mention explicite affirmant que la population ne serait généralement pas assez renseignée sur les nanotechnologies et leurs risques. Il est possible que cette affirmation proposée par les élèves relève d'une interprétation personnelle du document. Le texte de la Fondation Sciences Citoyennes discute en effet des problèmes d'information des citoyens, mais de manière assez indirecte, dans le cadre d'une discussion sur les procédures de participation citoyenne [31]. Dans ce contexte, la Fondation Sciences Citoyennes appelle à fournir aux citoyens des informations allant *"au delà du seul savoir scientifique pour prendre en compte les divers incidences de la technoscience sur l'espèce humaine et la planète*". En parlant d'un problème d'information des citoyens sur les risques que les nanotechnologies peuvent engendrer, les élèves nous semblent donc restreindre les thématiques sur lesquelles la Fondation Sciences Citoyennes appelle à débattre à la question des risques.

8.2.2.2 Des expressions dont la signification n'est pas claire pour les élèves

Bien que plusieurs élèves aient indiqué pour justifier leur choix de source documentaire que le niveau de complexité du discours leur paraissait adéquat, nous avons repéré qu'il leur

technoscience doivent être définies et adoptées sans réticences.

31. *"le débat public "nanos" a été torpillé par des activistes, si bien que les seules procédures participatives réalisées en France sur les nanos furent locales. Parmi celles-ci la conférence de citoyens organisée par la Région Ile de France en 2006. Cette procédure présente l'avantage de regrouper sur une période longue (plusieurs week-ends et conférence publique étalés sur plusieurs mois) des citoyens tirés au sort et dénués de conflit d'intérêt en rapport avec le sujet. Les informations qui leur sont proposées doivent être complètes et contradictoires (les différents points de vue d'experts sont exposés) et aller au delà du seul savoir scientifique pour prendre en compte les divers incidences de la technoscience sur l'espèce humaine et la planète. Pour remplir cette fonction, les conférences de citoyens (CdC) devraient répondre à un protocole strictement défini afin d'assurer l'intégrité du jury, l'objectivité et l'exhaustivité de sa formation comme sa réflexion collective et hors de toute pression jusqu'à la production autonome de l'avis."*

arrivait parfois d'utiliser des expressions dont certains élèves ne semblaient pas maîtriser pas la (ou les) signification(s).

Cela nous paraît être le cas lorsque les élèves de l'un des groupes qui ont étudié les problèmes de protection des libertés parlent de *"questions d'éthiques"*.

155	Marine (ex-AdlT)	Y a l'atteinte à la vie privée, euh des problèmes de santé, euh, le classement de caractéristiques des individus, et des questions d'éthique.
156	Chercheure	C'est à dire ? Vous pouvez détailler ? Qu'est-ce que vous entendez par là. Enfin, qu'est-ce qu'ils entendent par là ?
157	Marine (ex-AdlT)	(*Silence... Puis elle rit un peu gênée.*)
158	Chercheure	Non, vous *(mot incompréhensible)* ou il y en a qui, dans le groupe qui peuvent réagir ? Non, vous vous souvenez plus ? Si ?

Dans cet extrait, Marine ne semble ainsi pas à l'aise avec le vocabulaire qu'elle emploie, issu de l'article de Wikipédia.

Ce genre de réaction embarrassée face à une demande d'explicitation se retrouve aussi au moment où la chercheure demande à l'un des élèves qui a étudié les rapports entre développements des nanotechnologies et démocratie d'expliciter la signification qu'il donne à l'expression "principe de précaution".

274	Grégoire (ex-CNIL)	Alors ensuite, pour répondre à la deuxième question, qui est quels sont les défis que posent les nanotechnologies à nos démocraties, bah le premier c'est que c'est les risques. C'est le manque, euh, les manques de principe de précaution aux centaines de produits de consommation dopés aux nanotechnologies. Jusqu'à aujourd'hui.
275	Chercheure	Qu'est-ce qu'ils entendent par principe de précaution ? Vous avez des indications là-dessus ? ou...
276	Grégoire (ex-CNIL)	Bah c'est mieux s'informer sur les nanotechnologies.
277	Chercheure	Alors c'était comme çà qu'ils le définissaient sur le site ou ? *(Grégoire fait une moue indiquant qu'il ne sait pas)* Nan ? Vous avez pas noté ?
278	Damien (ex-CNIL)	*(Bas à Grégoire)* Regarde derrière
279	Grégoire (ex-CNIL)	Non.

L'élève semble ainsi avoir répercuté une expression dont il n'avait pas interrogé le sens au moment d'exploiter les documents.

Il est par ailleurs arrivé que des élèves fassent référence à des bribes de document et que les expressions mutilées restituées à l'oral n'aient plus vraiment de sens. Ainsi, comme indiqué au paragraphe 8.2.1.12, l'un des élèves qui a travaillé sur les enjeux économiques et sociaux a parlé *"d'apport physique"* et d' *"actions dont le but euh est la miniaturisation des dispositifs électroniques, mais il y a une frontière dont il est la réalité et la frontière scientifique."*

Si l'on recherche les traces de ces différents éléments mentionnés par l'élève dans les documents qu'ils ont étudié, on retrouve l'expression "*des actions dont le but était la miniaturisation des dispositifs électroniques"* rapportée par l'élève dans le texte issu du site de "l'ultra-propreté"[32]. Par ailleurs, il est possible que la mention de "l'apport physique" ait été

32.

inspirée par une phrase où il est question : *"d'observer des objets infiniment petits grâce à l'apport de la physique, de la chimie et de la biologie"*. Enfin, les termes de frontière, de réalité et de scientifique sont aussi employés sur le site de l'ultra propreté où on lit :

> *"Si les nanotechnologies se trouvent encore à la frontière entre la réalité scientifique et des visions ambitieuses ou entre des premières utilisations et des applications prometteuses, on les retrouve déjà partout (...)."*

Ainsi, la manière dont l'élève rend compte ici du contenu du document, donne l'impression qu'il juxtapose des éléments piochés dans le texte, sans restituer le sens du paragraphe dont ils proviennent.

Ce genre d'expressions à la signification obscure se retrouve aussi chez l'une des élèves ayant travaillé sur les questions d'utilisations en médecine. Au paragraphe 8.2.1.4, nous avions indiqué qu'elle parlait de la NBIC comme d'une *"intervention industrielle et de recherche de combinaison"*. Cette expression a aussi été relevée par les élèves sur leurs fiches. Elles ont ainsi écrit :

> *"La convergence NBIC s'est l'amélioration des progrès physique.*
> *NBIC = nanotechnology, biologie, informatique et science conitive*
> *s'est aussi une intervention industrielle et de recherche de combinaison.*
> *>> permet de l'acheminement des médicaments*
> *c'est un carffour de domaine des nanotechnology"*

Nous avons recherché d'où provenaient ces éléments que les élèves mobilisaient à l'oral. Dans le corps du document présentant le projet de recherche sur "l'imaginaire de la NBIC", les expressions "d'intervention industrielle" et de "recherche de combinaison" sont utilisées assorties de précisions sur les objets sur lesquels portent ces interventions et ces recherches. [33]Il y est en effet question d'intervention *"de façon industrielle au cœur de la matière"* et de recherche de *"combinaisons entre bits, atomes, neurones et gènes"*. Les élèves ont ainsi recopié partiellement ces expressions, les dépouillant du même coup de leur signification.

8.2.2.3 Absence de répercussion des indications sur la fiabilité des assertions d'un article Wikipédia

La confrontation entre les productions orales et écrites des élèves et le contenu des documents nous a aussi permis de mettre en évidence que les élèves n'avaient pas repris, à l'oral

---

Dans le document tiré du site de "l'ultra-propreté" on peut lire :

"Les nanotechnologies apparaissent révolutionnaires bien qu'étant dans la continuité des actions dont le but était la miniaturisation des dispositifs électroniques et de techniques permettant d'observer des objets infiniment petits grâce à l'apport de la physique, de la chimie et de la biologie. Le côté révolutionnaire est dû au fait que cette continuité s'est accompagnée d'une rupture, la possibilité de manipuler la matière, atome par atome, grâce à la microscopie à effet tunnel, la pointe du microscope permettant de saisir des atomes quand on la soumet à une tension électrique et de les déposer là où on le souhaite en inversant la tension."

33. On peut ainsi lire dans ce document :

"Le passage des activités humaines à l'échelle nano-métrique permet d'intervenir de façon industrielle au cœur de la matière, et de rechercher systématiquement des combinaisons entre bits, atomes, neurones et gènes, ouvrant des perspectives vertigineuses : informatique invisible et ubiquitaire (un ordinateur dans chaque objet, communiquant de surcroît), un corps-cyborg de plus en plus hybridé à des prothèses ou supportant des greffes techniques, des créatures modifiées, des couplages entre cerveaux et ordinateurs, et en ligne de mire la "fabrication moléculaire"... La voie empruntée depuis son origine par une humanité se créant elle-même semble se confirmer : voie fascinante, voire ludique, mais voie étroite tant les figures de la puissance folle ou de l'asservissement y sont présentes..."

comme à l'écrit, un certain nombre de mises en garde présentes dans un article de Wikipédia sur la fiabilité des assertions y figurant.

En préambule de l'article traitant du débat sur les nanotechnologies, un avertissement met en en effet en garde les lecteurs car ce texte *"ne cite pas suffisamment ces sources"* (voir figure 8.1).

FIGURE 8.1 – Copie d'écran de la mise en garde sur le contenu de l'article sur le débat sur les nanotechnologies consulté par l'un des groupes d'élèves (copie d'écran réalisée le 06/08/2012)

De plus, dans le corps de l'article, certains contributeurs à Wikipédia ont signalé localement que des références manquaient. Or, parmi les extraits de ce document que les élèves ont retenus, deux sont justement assortis d'une mise en garde clamant "référence nécessaire", dont ils n'ont pas rendu compte à l'oral ou à l'écrit. C'est le cas pour un passage repris par les élèves sur les produits de la marque l'Oréal qui contiennent des nanoparticules alors qu'elles *"s'avèrent de plus en plus toxiques"*[34]. C'est aussi le cas pour le chiffre de 5% du budget accordé aux nanotechnologies dédié à l'évaluation des risques que citent les élèves[35].

8.2.2.4 Des éléments apportés par les élèves

Enfin, la confrontation entre les productions des élèves et le contenu des documents qu'ils ont sélectionnés, montre qu'à trois endroits, les élèves ont apporté des éléments de leur fait dans leurs présentations.

Ainsi, l'un des élèves rapporteur du contenu l'article de Wikipédia sur le débat des nanotechnologies commente l'une des affirmations qu'il a relevée. Pour répondre à la question : "Quelles sont les retombées attendues des nanotechnologies en matière économique et sociale ?" il déclare :

> *"il y a des gens qui se posent des questions sur euh, sur le devenir de la nanotechnologie, à savoir est-ce que plus tard il pourrait y avoir des mutations, des hommes remplacés par des robots.*
>
> *C'est un peu vite dit, mais on a vu des choses comme çà."*

34. Sur ce thème, on peut lire dans l'article de Wikipédia :

> *"Le groupe de cosmétiques L'Oréal a mis en avant la présence de tels éléments dans certaines de ses publicités*[réf.nécessaire] *et a ensuite renoncé à un tel affichage. Une des raisons possible de ce revirement est le risque d'une contre-publicité liée à la présence d'éléments issus des nanotechnologies.*
>
> *En 2006, l'association écologiste Amis de la Terre ont rappelé que certains des plus grands noms des cosmétiques, comme L'Oréal, Revlon ou Estée Lauder, continuent de vendre des produits contenant des ingrédients nanotechnologiques alors qu'il y aurait de plus en plus de preuves que ces matériaux peuvent être toxiques pour les humains*[réf.nécessaire]*."*

35. Il est ainsi écrit dans Wikipédia :

> *"Cependant, alors que les investissements financiers privés et publics dans ces technologies sont considérables, moins de 5% des budgets sont consacrés à l'évaluation des risques*[réf.nécessaire]*."*

Il reprend ici l'unique élément que lui et son groupe ont tiré de cet article pour cette question [36] et ajoute spontanément un commentaire pour souligner qu'il considère cette interrogation mentionnée sur Wikipédia avec prudence.

D'autres élèves apportent aussi, lors de leurs présentations, des éléments ne figurant pas dans les documents qu'ils ont répertoriés parmi leurs sources documentaires. Les élèves qui ont travaillé sur la toxicité des nanoparticules et des nanomatériaux parlent des différents modes d'exposition : par inhalation, par contact et par ingestion. Ce dernier type d'exposition n'apparaît cependant pas sur la page web qu'elles ont retenue [37]. On peut ici s'interroger : ont-elles lu ceci dans un autre document ou bien se souviennent-elles des échanges qui ont eu lieu lors de la séance de jeu de rôle, une semaine plus tôt ?

Enfin, l'un des groupes d'élèves qui a travaillé sur les rapports entre développements des nanotechnologies et démocratie a également discuté d'éléments absents des documents qu'ils avaient sélectionnés. Ils parlent ainsi de questions de protection de la vie privée sur la fiche associée au document de Sciences et Démocratie traitant de la mise en place d'un étiquetage "nano" dans le secteur de l'alimentation :

> *"Les défis que posent les nanotechnologies à nos démocraties et que avec ces puces de répérage et de mise en écoute, sur tous les citoyens est une atteinte à la vie privée, ce qui est contre la loi."*

Le document correspondant ne dit pourtant rien des questions d'atteinte à la vie privée. Étant donné que ce groupe avait étudié le cahier d'acteur de la CNIL lors du jeu de rôle, il est possible ici, même si on ne peut en être complètement sûr, que cette réponse ait été influencée par leurs lectures lors la séance précédente.

8.3 Discussion

Nous voudrions à présent, pour conclure ce chapitre, discuter nos résultats d'analyse en revenant d'abord sur l'aperçu de la controverse construit par les élèves au travers de cette activité puis sur leur mise à distance des différents discours.

8.3.1 Une confrontation aux discours d'acteurs divers

Les documents sélectionnés par les élèves sur divers sites Internet répertoriés sur la figure 8.2 les ont conduits à se confronter aux discours de multiples acteurs. Cet éventail d'acteurs peut être mis en regard avec les catégories que nous avions forgées pour notre analyse des controverses. Nous avions ainsi répertorié :

- Des agences d'expertise et des instituts de recherches : ici les élèves ont été confrontés à ces acteurs indirectement, par le biais de sites d'informations rapportant les résultats de certaines études (Wikipédia, Consoglobe...), mais aussi directement pour les élèves qui se sont appuyés sur un dossier du CNRS pour travailler sur les utilisations en médecine des nanotechnologies.

36. Le texte de Wikipédia indique en effet :

> *"Les nanotechnologies ont aussi soulevé des questions philosophiques et éthiques liées au remplacement de l'homme par les robots, à la mutation de l'homme, à son hybridation avec la technique. On parle alors de transhumanisme. Le dépassement de l'Homme par une forme de vie et d'intelligence supérieure est envisagé par certains*[33]*."*

37. Ce document est disponible en annexe (paragraphe 14.3). Pour alléger le texte ici, nous revenons pas en détail sur son contenu.

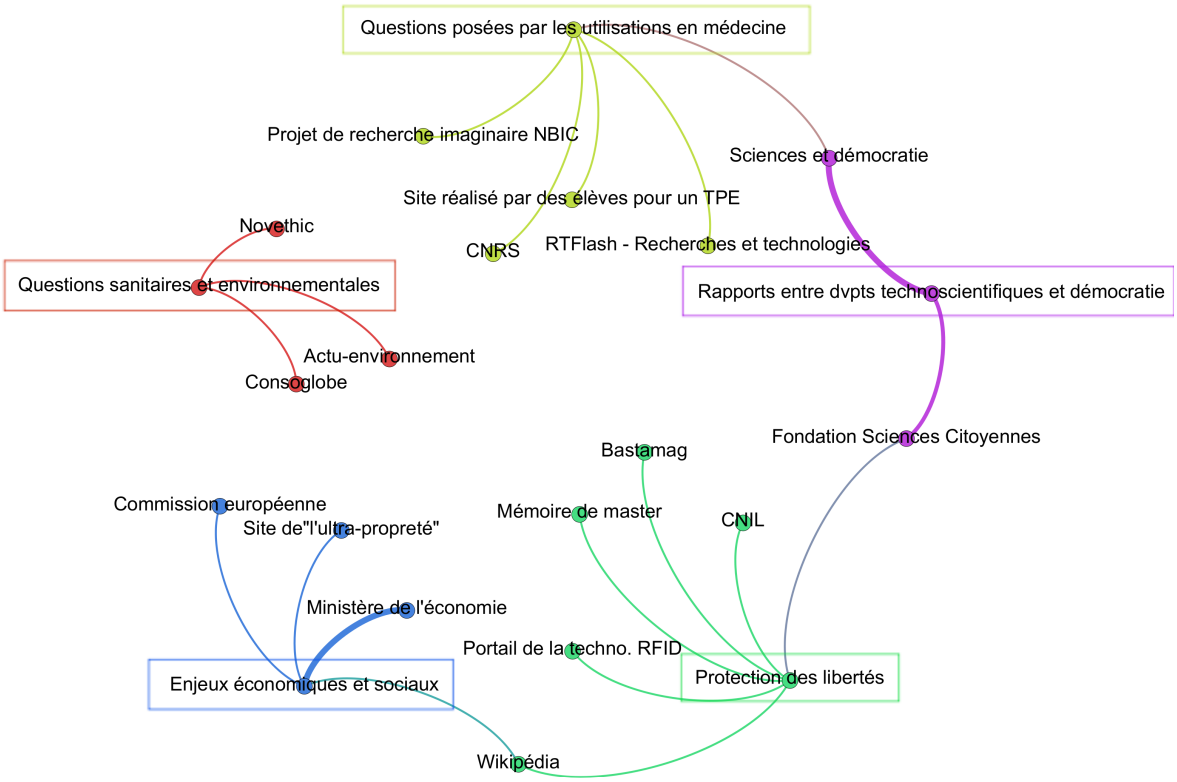


FIGURE 8.2 – Sites qu'ont sélectionnés les élèves selon les thèmes qu'ils ont explorés. L'épaisseur du lien est pondérée par le nombre de documents recueillis sur le site.

- Des associations s'intéressant à l'appropriation citoyenne des choix scientifiques et technologiques : ici les élèves ont utilisé plusieurs fois des documents produits par certains de ces acteurs (Fondation Sciences Citoyennes, Sciences et Démocratie). Cela a été notamment le cas pour les élèves travaillant sur les rapports entre développements des nanotechnologies et démocratie.

- Des conseils régionaux ou économiques et sociaux : les élèves n'ont pas sélectionné de document produit par ce type d'acteurs. En revanche, les groupes travaillant sur les enjeux économiques et sociaux des nanotechnologies ont utilisé plusieurs documents produits par le Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. L'un d'entre eux a aussi eu recours à un dossier de la Commission Européenne. Enfin l'un des groupes d'élèves étudiant les enjeux des utilisations en médecine des nanotechnologies a retenu un texte d'un ancien sénateur chargé notamment de produire un rapport sur la recherche et les nouvelles technologies pour le projet de loi de finances de 2004 ;

- Des industries : ici les élèves n'ont pas recueilli de document produit par des regroupements d'industriels ou d'entrepreneurs. Les seules confrontations à ce type d'acteurs ont eu lieu indirectement, par exemple au travers de Wikipédia ou du site de référencement des professionnels de l'ultra-propreté.

- Des mouvements de protection de l'environnement : les élèves n'ont pas retenu de document rédigé par l'un de ces acteurs. Toutefois, les élèves travaillant sur les questions sanitaires et environnementales des développements des nanotechnologies ont choisi des sites clamant leur intérêt pour les questions environnementales et pour le "développement durable" (Consoglobe, Actu-environnement, Novethic). L'un des

groupes travaillant sur les enjeux économiques et sociaux des nanotechnologies a également été confronté à certaines prises de position d'associations comme les Amis de la Terre au travers de la lecture d'un article de Wikipédia.

- Des sociétés savantes : les élèves n'ont pas choisi de documents produits par ces acteurs.

- Des syndicats de salariés et des associations de consommateurs : ici les élèves n'ont pas retenu de documents produits ni par un syndicat, ni par une association de consommateurs. Toutefois, le site "consoglobe" consulté par les élèves travaillant sur les questions sanitaires et environnementaux revendique un rôle d'aide au consommateur.

Enfin, d'autres organismes avaient aussi fourni des cahiers d'acteur pour le débat public de la CNDP :

- la CNIL, acteur important de la discussion sur les questions de protection des libertés dont le site a été visité par l'un des groupes d'élèves ;
- l'AFNOR dont les élèves n'ont pas rencontré ou retenu de document lors de leur sélection ;
- les Verts dont aucun texte ne figure dans le corpus recueilli par la classe ;
- le collectif national des scientifiques et ingénieurs de France dont on ne trouve non plus aucune trace dans les documents retenus par les élèves ;
- l'association française transhumaniste, acteur auquel les élèves ont été seulement indirectement confrontés au travers de Wikipédia.

Enfin nous avions aussi inclus la figure de PMO dans notre description des controverses. Les élèves n'ont ici pas étudié directement les discours de cet acteur. Ils ont toutefois rencontré un article du site de Bastamag relatant l'une des actions de cette organisation menée avec la confédération paysanne contre un centre de développement des RFID.

Cet inventaire montre que les élèves ont rencontré des discours sur les développements des nanotechnologies d'acteurs assez divers, même si parfois cette confrontation ne s'est faite qu'indirectement, au travers du prisme de média d'information particuliers.

8.3.2 L'aperçu des controverses forgé par la classe

À partir des documents ainsi récoltés, la classe a construit, groupe après groupe, un aperçu des controverses soulevés par les nanotechnologies. Ces éléments mis en avant par les élèves dans leurs présentations sont récapitulés sur les figures 8.3 et 8.4. Au moins six éléments nous semblent à souligner.

D'abord plusieurs élèves semblent accorder de l'importance aux dimensions sanitaires et environnementales des controverses. Ainsi, outre les élèves qui ont spécifiquement exploré ce thème, les deux groupes d'élèves travaillant sur les enjeux économiques et sociaux et ceux s'intéressant aux rapports entre nanotechnologies et démocratie ont fait écho à ces préoccupations.

Ensuite, les applications des nanotechnologies et en particulier en médecine sont revenues à plusieurs reprises dans la bouche des élèves. Nous avons d'ailleurs noté à plusieurs reprises que, lors de l'énoncé de leurs opinion, les élèves formulaient leur point de vue comme un balancement entre "des applications bénéfiques" et "des risques à ne pas négliger". Ce fut le cas pour les deux groupes dont les recherches ont porté sur les utilisations des nanotechnologies en médecine, pour les deux groupes travaillant sur les enjeux économiques et sociaux des nanotechnologies et pour les élèves travaillant sur les questions de protection des libertés qui ont discuté des avantages et des inconvénients des RFID. Beaucoup d'élèves (19 élèves sur 28)

Ce que les élèves ont tiré des documents

Questions sanitaires et environnementales

Définitions : Critère de taille pour définir les nanoparticules (NNP)
Nanomatériaux : contiennent des NNP et sont intentionnellement produits (Actu-environnement)
Plusieurs paramètres influent sur la toxicité des NNP (taille, forme, nature)
3 voies d'exposition : inhalation ; contact ; ingestion
Etude mettant en avant la toxicité du nano TiO_2 pour les écosystèmes (Consoglobe)
Mise sur pied d"initatives pour permettre l'encadrement de ces substances
- veille sanitaire,
- projet de loi sur la traçabilité des nanoparticules
- recherches sur la toxicité des substances nanos. (Novethic)

Avis des élèves :
Continuer les recherches sur la dangerosité et réglementer l'utilisation et la commercialisation des produits contenant des NNP

Utilisations en médecine des nanos

Plusieurs utilisations répertoriées (vectorisation des médicaments, médecine régénérative, destruction cellules cancereuses, action contrôlée sur l'ADN) (RT-flash ; CNRS)
NBIC : explicitation du sigle et idée d'amélioration des capacités physiques (Présentation projet de recherche sur la NBIC)
Interrogations posées par les nanotechnologies en médecine :
- manque de recul
- questionnement ramené aux risques sanitaires liés à l'utilisation des NNP (site d'élèves pour TPE)

Avis des élèves :
Importance des utilisations en médecine mises en avant par 4 groupes
Balancement avantages / importance de prendre du recul

Questions de protection des libertés

RFID : Étiquette permettant l'identification à distance ;
Transmission de l'info par onde radio émise par une antenne ;
Puce passive (lecture seule) ou active (Wikipédia et rfidfr.org)

Questions posées par l'utilisation massive de dispositifs type RFID :
Possibilités d'atteintes aux libertés individuelles et à la vie privée (CNIL ; FSC ; Wikipédia ; Bastamag)
Problèmes d'accès à des données personnelles (CNIL ; FSC)
Agression sélective des personnes (Wikipédia)
Perturbation des équipements de santé (Wikipédia ; Mémoire master)

Protection des données transmises :
Risque d'interception des données (rfidfr.org)
Possibilité de hackage des puces RFID (Wikipédia)

Avis des élèves :
Avantages (lutte contre fraude, vols...) vs inconvénients (menaces pour les libertés, perte d'anonymat, traçage, éventuels problèmes sanitaires)
Revoir la sécurité des dispositifs RFID

Rapports entre développements des nanos et démocratie

Arguments pour démocratisation des choix nanos :
- Citoyens tous concernés par développements des "nanos" en particulier par risques sanitaires et env. (FSC)
- Citoyens sans pouvoir d'action sur le développement des "nanos" (FSC)

Défis posés par les nanos à nos démocraties :
- Risques santé et environnement et pb protection des libertés (Sc & dém)
- Problème d'info de la population (FSC)
- Difficile de savoir ce que pensent les individus (FSC)

Critique des procédures de consultation des citoyens :
- Problème d'info de la population en particulier sur risques (FSC)
- Financements déjà engagés au moment des débats (FSC)
- Problème de représentativité des participants (FSC)

Avis des élèves :
Tenir compte de l'avis des citoyens
Proposer des procédures pour permettre la participation des citoyens
Problème d'information des citoyens et intérêt d'un étiquetage

FIGURE 8.3 – Synthèse de l'analyse de l'exploitation des documents par les élèves (1)
(Les sources documentaires mentionnées par les élèves figurent entre parenthèses)

Ce que les élèves ont tiré des documents

Enjeux économiques et sociaux

Secteurs concernés par les nanos :
Électronique ; secteur pharmaceutique ; chimie ; transports ; matériaux ; TIC ; santé ; " écotechnologies "; secteur de l'énergie ; cosmétiques ; automobile ; aéronautique et aérospatial ; armement
(Ministère de l'économie, Commission EU et Site de l'ultra-propreté)
Toxicologie (moins de 5% des budgets) (Wikipédia)

Retombées attendues :
Emplois (~ 2 millions)
Importance du marché (10^9 $ d'ici 2015 et 10^9€ pour 2010 (en 2008))
"Prochaine révolution industrielle" (Ministère de l'économie)
Confort des individus (santé, TIC, matériaux intelligents) (Com. euro.)
Hommes remplacés par des robots ? (Wikipédia)

Questions économiques et sociales posées par les nanos :
Problèmes sanitaires, éthiques, de gestion des risques industriels et d'application du principe de précaution (Ministère de l'économie)
Débats sur les risques pour l'homme, sur l'éthique, les libertés, les travaux pour l'armement (Wikipédia)

Avis des élèves :
Opposition entre avantages (emplois, avancées en médecine, retombées éco...) et risques (traçage, risques sanitaires...) à prendre en compte avant d'aller plus loin

FIGURE 8.4 – Synthèse de l'analyse de l'exploitation des documents par les élèves (2)

semblent ainsi enclins, lorsqu'on leur demande leur avis sur la thématique qu'ils ont étudiée, à poser les problèmes en termes binaires.

Concernant les utilisations en médecine, les questions d'amélioration des capacités de l'humain n'ont pas été vraiment développées par les groupes se penchant sur ce thème. Elles avaient pourtant donné lieu à des échanges assez nourris lors de l'activité de jeu de rôle. Ici, un seul groupe a évoqué du bout des lèvres les questions de transhumanisme mais en les présentant sous un jour particulier en affirmant à la suite de Wikipédia *"qu'il pourrait y avoir des mutations, des hommes remplacés par des robots"*. Cet élève a d'ailleurs affiché son scepticisme face à cette affirmation. On peut donc s'interroger : les élèves qui ont travaillé sur les utilisations en médecine des nanotechnologies ont-ils considéré que les questions de modifications de l'humain étaient secondaires ?

Si les questions de modifications de l'humain n'ont pas été développées, les élèves semblent avoir accordé de l'importance aux questions de protection des libertés et de la vie privée. Ces objets de questionnement ont d'ailleurs été cités par des élèves ne se consacrant pas spécifiquement à cette thématique. On peut donc noter ici une évolution par rapport à l'activité de jeu de rôle où c'étaient essentiellement les élèves ayant étudié le cahier d'acteur de la CNIL qui avaient discuté de ces questions.

Le cinquième point est relatif à l'importance que les élèves traitant des rapports entre développements technoscientifiques et démocratie ont accordé à la participation des citoyens. La discussion sur la manière de rendre effective cette participation nous semble toutefois être restée embryonnaire. L'un des élèves a ainsi proposé qu'un "vote" ou qu'un "moyen de participation des citoyens" soit trouvé en cas "d'innovation importante". Nous avons par ailleurs noté que ces élèves mettaient un accent appuyé sur les problèmes d'information des citoyens.

Enfin concernant les enjeux économiques et sociaux des nanotechnologies, les élèves qui ont travaillé ce thème ont présenté un inventaire d'objets de débats (débat sur l'éthique, sur la gestion des risques industriels, sur l'application du principe de précaution, sur la vie privée...) pour répondre à la question leur demandant quelles étaient les interrogations soulevées par les nanotechnologies en matière économique et sociale. L'aperçu donné de cette dimension

de la controverse est donc resté assez peu spécifique. Il faut aussi souligner ici que l'aperçu qu'ont eu ces élèves au travers des documents sélectionnés était fortement marqué par des discours institutionnels (en particulier pour un groupe qui n'avait retenu que des documents produits par la Commission Européenne ou par le Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie). Ce choix des sources a sans doute rendu plus difficile l'élaboration d'une réponse sur les questionnements d'ordre économique et social soulevés par les développements des nanotechnologies. Enfin, sur ce thème nous avons aussi mis en évidence qu'à deux reprises les élèves avaient déplacé le discours sur la compétition économique et scientifique pour le développement des nanotechnologies. Dans le premier cas, les élèves ont ainsi plutôt discuté de perspectives d'emploi pour les pays émergents ; dans le second, ils ont parlé d'investissements dans les nanotechnologies alors qu'il était question de publications.

8.3.3 Une tension entre examen critique des discours et volonté d'apporter des réponses aux questions posées ?

Évaluation des sources documentaires

Qui a écrit ce document ?
- Nom de l'organisation ou document réalisé par des étudiants (17 doc sur 25)
- Wikipédia : "on ne sait pas qui est l'auteur" (2 doc.)
- Réponse non informative (6 doc.)

Quelles sont les missions revendiquées par l'auteur ?
- Absence de réponse (9 doc. sur 25)
- Réponse en décalage avec la question (citation ou résumé du texte) (6 doc.)
- Réponse reprenant des recommandations du doc (3 doc.)
- Réponse du type : "l'auteur veut informer sans prendre position" (2 doc.)
- Reprise des infos sur l'organisation données sur le site ou le doc (5 doc.)

Comment sont financés les travaux de cet acteur ?
- Absence de réponse (11 doc. sur 25 dont productions scolaires)
- Réponse en décalage avec la question (financement des travaux dont il est question dans le doc) (5 doc.)
- Réponse reprenant des info. sur le site ou des connaissances perso. (9 doc)

FIGURE 8.5 – Synthèse de l'analyse des fiches d'évaluation des sources documentaires

Le deuxième angle d'analyse de nos données avait trait à la mise à distance par les élèves des discours qu'ils rencontraient. Les productions des élèves recueillies ici n'ont cependant pas permis d'aller très loin sur cette aspect de notre problématique.

L'analyse du contenu des fiches d'évaluation des documents remplies par les élèves (dont les résultats sont résumés sur la figure 8.5) a mis en évidence l'existence de plusieurs réponses peu informatives citant seulement les patronymes des auteurs à la question "qui a écrit ce document". Nous avons aussi relevé une absence de réponses sur les missions revendiquées par l'acteur auteur du document pour 9 documents sur 25.

On peut donc ici s'interroger : les élèves proposent-ils ces réponses parce qu'ils ne saisissent pas la pertinence de ces questions ? Les proposent-ils parce qu'ils n'ont pas immédiatement trouvé de réponses plus informatives et que la priorité pour eux étaient d'apporter des éléments de réponses aux interrogations censées guider leurs recherches documentaires puis leurs présentations ?

D'un point de vue pédagogique et dans une perspectives design-based, ces deux résultats nous semblent en outre indiquer que plusieurs élèves n'ont pas vraiment tiré profit de la fiche de d'évaluation des documents qui leur avait été distribuée pour discuter de la fiabilité de leurs sources. Cette impression est renforcée par les absences de réponse pour 11 documents sur 25 à la question sur les financements des travaux de l'acteur. De plus, pour répondre à la question sur les missions revendiquées par l'acteur, plusieurs élèves ont répondu en citant

Justifications des choix de document

Pertinence de la source documentaire (3 doc) :
- "Source officielle donc fiable" (2 doc d'un groupe)
- Choix tactique : un cahier d'acteur pour être sur "d'être dans le sujet"

Pertinence du contenu du document (21 doc) :
- Idée que c'est le point de vue d'un acteur (2 documents)
- Idée que le document "répond à la question posée" (explicite dans 3 doc.)

Niveau de complexité adapté (7 doc.)

Clarté du texte (2 doc.)

Document complet (4 doc.)

FIGURE 8.6 – Synthèse de l'analyse des justifications des choix de document proposées par les élèves

des passages du texte ou bien en en résumant le contenu. À l'exception notable du cas où les élèves ont écrit à propos d'un document du ministère de l'économie, des finances et de l'industrie, qu'il s'agissait d'une *"description méliorative des nanotechnologies en ventant les débouchés"*, ces réponses un peu décalées avec la question posée nous semblent indiquer de nouveau que plusieurs élèves n'ont pas toujours tiré partie de cette fiche d'évaluation des sources pour situer l'acteur dont ils étudiaient le discours.

Enfin, à la question sur les missions revendiquées par l'acteur, nous avons aussi relevé à deux reprises que des élèves estimaient que l'acteur auteur des documents (publiés respectivement sur Wikipédia et sur le site du Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie) voulait simplement "informer", sans prendre position. Les élèves nous semblent ainsi accepter l'idée que ces sources d'information puissent être neutres et que, pour le Ministère de l'économie, cet acteur "ne souhaitant qu'informer" était par conséquent particulièrement fiable.

Pour documenter la prise de distance des élèves par rapport aux discours qu'ils rencontraient nous avons aussi examiné les justifications apportées par les élèves à leur choix de documents. Les résultats des réponses des élèves sont rappelées sur la figure 8.6.

Comme nous venons de le souligner, l'un des groupes semble avoir choisi des documents produits sur des sites institutionnels (Ministère de l'économie, des finances ou de l'industrie et Commission Européenne) car ils estimaient que ces sources officielles étaient "sûres". Cette confiance accordée aux institutions nous semble ici être plutôt une entrave à la mise à distance des discours produits par ces acteurs.

Par ailleurs, les motifs de choix de documents explicités par les élèves nous semblent pour certains marqués par l'idée d'accomplir la tâche demandée par l'encadrant. C'est le cas lorsque les élèves ont retenu un cahier d'acteur pour "être sûr d'être dans le sujet" ou lorsque certains mettent en avant que "le document répond à la question posée". Dans ces cas précis, il nous semble que les élèves sont focalisés sur l'idée de répondre aux consignes de manière conforme aux attentes de l'encadrant et que cela prime sur une discussion de la fiabilité ou de l'intérêt du document.

Enfin, prises dans leur ensemble, ces justifications nous semblent indiquer que les choix de documents des élèves étaient souvent plus guidés par l'idée de répondre aux questions qui leur étaient posées en choisissant des documents accessibles et clairs que par l'idée de confronter les discours de différents acteurs.

Outre cet examen des fiches d'évaluation des sources par les élèves, la confrontation entre les discours des élèves et le contenu des documents nous a également apporté quelques indications sur la mise à distance des discours par les élèves. Les résultats de cette confrontation, rassemblés sur la figure 8.7, montrent que certains élèves ont employé des expressions n'ayant pas de signification claire pour eux. Il semble que quelques élèves se soient ainsi bornés à recopier le contenu de ces documents sans en maîtriser le sens. Ceci nous semble être un obstacle

Confrontation du contenu des présentations et des documents

- Recopiage non maîtrisé :
  Utilisation d'expressions dont certains élèves ne maîtrisent pas le sens (questions éthiques, principe de précaution)
  Des relevés partiels d'expressions leur faisant perdre leur sens (à 2 reprises)
- Absence de répercussion des indications sur la fiabilité des assertions d'un article de Wikipédia (2 occurences dans un doc)
- Commentaire spontané des allégations contenues dans le doc. (1 occurrence)
- Apports d'éléments absents des sources référencées (2 occurrences)

FIGURE 8.7 – Synthèse des informations tirées de la confrontation entre productions des élèves et contenus des documents en matière de mise à distance

à la prise de distance des discours rencontrés.

Par ailleurs, l'absence de prise en compte des mises en garde explicites sur la fiabilité de certaines informations dans Wikipédia par l'un des groupes d'élèves nous semble indiquer que l'objectif d'apporter des éléments de réponses aux questions posées pouvait avoir tendance à éclipser la mise à distance du contenu des documents. Ce résultat est toutefois à nuancer puisque ces mêmes élèves ont aussi questionné le contenu de certaines allégations contenues dans l'article de Wikipédia.

Enfin, nous avons aussi relevé qu'à deux reprises, des élèves avaient, pour répondre aux questions guidant leurs recherches, apporté des éléments qui ne figuraient pas dans leurs documents. Ici, il est possible que les élèves aient proposé ces réponses en réinvestissant des éléments rencontrés lors de la séance de jeu de rôle. Toutefois, en termes de mise à distance des discours, ce résultat nous semble indiquer que ces quelques élèves ont en quelque sorte détaché le contenu d'un discours de son auteur, quitte à l'attribuer à une autre organisation. En ce sens, ces deux apports d'éléments absent des documents nous semblent de nouveau pointer une sorte de tension entre deux postures, l'une consistant à s'acquitter la tâche imposée, et l'autre à considérer de manière critique différents discours portés par différents acteurs.

Chapitre 9

Analyse de la séance de synthèse et de préparation de questions

Dans ce chapitre nous analysons les productions des élèves, réalisées au cours de la dernière séance de la séquence pédagogique que nous leur avons proposée.

Cette séance de synthèse s'est déroulée en deux étapes. Au cours de la première, les élèves ont travaillé en petits groupes. Il leur a été distribué à chacun une synthèse reprenant le contenu des différentes présentations proposées par les élèves lors de la séance de recherches documentaires. Cette synthèse (disponible à l'annexe 15) a été construite à partir de la vidéo des exposés des élèves et comprenait cinq parties : une pour chaque dimension de la controverse sur laquelle un ou deux groupes d'élèves avait travaillé. Dans chaque partie, nous avions reporté les réponses apportées par les élèves aux questions qui leur étaient posées ainsi que les avis qu'ils avaient exprimés sur la thématique explorée.

Les élèves ont donc commencé par prendre connaissance de ce document, puis ils ont rempli collectivement une fiche où il était demandé trois choses.

D'abord les élèves ont dû indiquer par écrit s'ils souhaitaient modifier le texte qui leur avait été soumis. Il leur a en effet été annoncé que cette synthèse serait mise sous forme d'un cahier d'acteurs de la classe mis en ligne sur le site du lycée (disponible à l'annexe 15).

Ensuite les élèves ont dû répertorier par écrit les points de cette synthèse qui leur semblaient les plus importants en justifiant pour pourquoi ils revêtaient une place particulière à leurs yeux.

Enfin, sur l'un de ces points importants, chaque groupe a dû formuler par écrit une question à poser lors de la venue au lycée de Joël Chevrier, physicien travaillant au département Nano de l'Institut Néel à Grenoble que l'enseignante de sciences physiques de la classe avait sollicité pour donner une conférence devant tous les élèves de première S de l'établissement [1].

Les élèves ont disposé de 50 minutes pour s'acquitter de ces trois tâches. Ils ont pu ensuite s'aérer l'esprit pendant une courte pause, que nous avons mise à profit pour recueillir les différentes questions proposées par les élèves et les recopier sur une diapositive.

La cloche a sonné.

Les élèves se sont alors rassemblés dans une salle où les sièges étaient disposés en hémicycle. Il s'en est suivi une discussion où les élèves se sont entendus sur les modifications à apporter à la synthèse. Les élèves ont ensuite regroupé les questions proposées et fusionné celles portant

1. L'enseignante souhaitait qu'un maximum de classes du lycée puisse bénéficier du partenariat entre des chercheurs et le lycée noué au travers de notre thèse. Elle a par conséquent sollicité Joël Chevrier dès le 10 octobre 2011, lors de notre seconde rencontre avec elle, pour qu'il vienne donner des conférences au lycée aux classes de terminale scientifique mais aussi aux classes de première scientifique.

La conférence à laquelle ont pris part les élèves avec lesquels nous avons travaillé, a donc été mise en place en réponse à une demande de l'enseignante et ressort initialement d'une logique interne d'établissement.

Nous discuterons de la cohérence de l'organisation de cette "conférence" avec le reste de notre séquence dans la dernière partie de ce manuscrit (chapitre 10).

sur les mêmes thématiques. Enfin, il les ont classés pour pouvoir poser en priorité celles leur paraissant les plus importantes.

Dans ce chapitre nous allons analyser les productions écrites de ces élèves. Nous nous intéresserons d'abord aux changements apportés à la synthèse. Nous examinerons ensuite les différentes thématiques que les différents groupes ont considérées comme importantes. Enfin, nous analyserons les questions qu'ils ont préparées pour le physicien.

9.1 Analyse des amendements proposés par les élèves à la synthèse de leurs présentations

Nous avons distingué trois types de propositions de modifications suggérées par les élèves. Certaines se rapportent à des modifications de forme (ajout de majuscules et explicitation de sigles). D'autres suggèrent de corriger certaines informations figurant dans le texte. Certaines, enfin, proposent de modifier le cahier d'acteurs sur le fond, soit pour y faire apparaître un point de vue absent, soit pour mieux insister sur certaines thématiques développées dans le texte. Dans ce qui suit, nous nous concentrons sur les demandes de modifications portant sur le fond du document.

9.1.1 Demande d'un moratoire

Les élèves qui, lors du jeu de rôle, avaient étudié le cahier d'acteurs des Amis de la Terre ont proposé d'apporter une modification à l'une des parties "point de vue" de la synthèse. Dans le paragraphe reprenant l'avis des élèves portant sur les questions sanitaires et environnementales soulevées par les développements des nanotechnologies, il était écrit :

> *"Il faut continuer les recherches pour connaître les dangers des nanoparticules sur la santé et sur l'environnement.*
>
> *Il faut bien réglementer l'utilisation et la commercialisation des produits contenant des nanoparticules, car on ne connaît pas leurs effets éventuellement néfastes sur l'homme ou l'environnement. Il faudrait notamment savoir dans quel objet il y a des nanoparticules et ne pas forcément les mettre dans le commerce."*

Les élèves qui, lors du jeu de rôle, avaient étudié le cahier d'acteurs des Amis de la Terre, ne reprennent pas ici cette préconisation relative à la mise en place d'une réglementation mais lui substituent une demande de moratoire. Elles ont ainsi écrit sur leurs fiches :

> *"Il faut continuer les recherches pour connaître les dangers des nanoparticules sur la santé et sur l'environnement pour cela il faudrait stopper les recherchent un moment et donc faire un moratoire."*

Elles justifient par ailleurs cette proposition de modification en écrivant :

> *"c'est un point de vue importants des amis de la Terre, une solution possible".*

Les élèves reprennent donc à leur compte l'une des recommandations détaillées dans le cahier d'acteurs des Amis de la Terre étudié lors de la séance du jeu de rôle[2]. Par ailleurs, le fait

2. Cette organisation avait en effet écrit dans le document fourni à la CNDP :

> *"Avant de débattre du développement des produits contenant des nanoparticules, il est indispensable que tous les problèmes – sanitaires, environnementaux, sociaux, économiques, éthiques – que posent ces produits soient traités en amont et qu'une réponse y soit apportée dans le respect du principe de précaution. Il ne saurait être question, à défaut de réglementation, de se contenter de "règles de bonne conduite".* ***Pour les Amis de la Terre, un moratoire sur la recherche et la commercialisation des nanotechnologies est la seule attitude raisonnable."*** *(cahier d'acteurs des Amis de la Terre)*

qu'elles parlent de *"solution possible"* nous semble indiquer qu'elles considèrent que d'autres façons d'agir sont envisageables. Elles se positionnent donc en défendant un choix parmi un éventail de possibilités.

D'autres élèves suggèrent aussi d'opérer des modifications sur le fond, non pas pour formuler une recommandation particulière mais pour mieux insister sur certaines thématiques développées dans le texte.

9.1.2 Demande de mieux insister sur certaines thématiques abordées dans la synthèse

Deux groupes d'élèves suggèrent d'apporter d'autres révisions sur le fond du texte. D'abord, deux des élèves ayant étudié le cahier d'acteurs de la CNIL et qui ont travaillé sur les rapports entre développements des nanotechnologies et démocratie lors de la séance de recherche documentaire, ont noté qu'ils auraient aimé retoucher le texte à deux endroits.

On peut ainsi lire sur leur fiche :

> *"• Nanopuces*
> Raisons justifiant cette modification :
> *Pas assez d'information*
> Nouvelle formulation :
> ↪ *apporter + de réponses*
>
> *• Nano risques*
> Raisons justifiant cette modification :
> *Incompréhensible*
> Nouvelle formulation :
> *Liste concrète des risques"*

Ces élèves n'ont donc pas indiqué précisément quels étaient les phrases ou les passages qu'ils auraient voulu modifier. Ils n'ont par ailleurs pas proposé de reformulations pour modifier le texte comme cela leur était demandé. Ils ont seulement indiqué des pistes de révision qui se rapportent à une demande d'ajout de nouvelles informations ou d'informations plus claires pour mieux éclairer le lecteur. Finalement ces élèves ne se sont pas manifestés à l'oral pour discuter de ces modifications qu'ils souhaitaient apporter.

Ensuite, le groupe d'élèves qui a étudié les questions sanitaires et environnementales lors de la recherche documentaire et qui, lors du jeu de rôle, avait analysé le contenu du cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste a également proposé un amendement portant sur le fond du cahier. Elles proposent de modifier le passage portant sur les perspectives ouvertes par l'utilisation des nanotechnologies en médecine. À cet endroit, il était écrit :

> *"• L'utilisation des nanotechnologies en médecine pourrait permettre :*
>
> *- un meilleur acheminement des médicaments aux cellules*[3]
>
> *- de contribuer à lutter contre certains cancers : des nanoballes ont été mises au point et sont capables de cibler et détruire les tumeurs pour des cancers inopérables. Dans un document produit par René Trégouët, Sénateur du Rhône et publié sur son site, on peut ainsi lire :*
>
> > Ces nanoballes sont constituées de petites particules de silice d'un diamètre de 110 nm, recouvertes d'une couche d'or d'épaisseur 10 nm s'échauffant quand une lumière se situant

3. *Source : site sagascience du CNRS, Centre National de Recherche Scientifique http ://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosnano/decouv/03/03_0/00_1.htm consulté le 31/01/12*

dans l'infrarouge proche est envoyée sur les particules, détruisant les cellules cancéreuses à proximité. Les chercheurs ont réussi à fabriquer des nanoballes capables de cibler les tumeurs et à lier ces nanoballes à des anticorps qui se fixent uniquement aux cellules cancéreuses. [4]

- Sur ce même site, on peut lire que les nanotubes de carbone peuvent aussi être utilisés pour pénétrer à l'intérieur du noyau des cellules et y livrer médicaments et vaccins. Il est aussi écrit qu'ils pourraient un jour être utilisés pour modifier précisément l'ADN d'une cellule.

- On parle aussi d'utiliser les nanotechnologies pour réparer des cellules du corps humain, comme celles de la peau, des vaisseaux ou du cerveau... [5] *"*

Les élèves proposent d'ajouter à cet liste un item :

"éspérance de vie accrue"

En face de l'endroit où il leur était demander d'expliciter les raisons motivant cette proposition de modification, elles ont par ailleurs écrit :

"appuyer sur l'importance des nanos pour la médecine"

Ces élèves semblent donc estimer que les perspectives ouvertes pour la médecine par les développements des nanotechnologies constituent un aspect important du texte. Elles ne donnent toutefois pas d'indication sur l'origine de cette affirmation selon laquelle les nanotechnologies pourraient laisser augurer une augmentation de l'espérance de vie. On ne peut donc pas savoir exactement sur quoi elles s'appuient ici. On peut néanmoins mettre en regard leur proposition avec le contenu du cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste qu'elles ont étudié en préparation du jeu de rôle et qui annonce que la nanomédecine va permettre un allongement de l'espérance de vie [6]. Il est ainsi possible que les élèves aient mobilisé une affirmation qu'elles avaient lue dans le document qui leur avait été fourni lors de la séance de jeu de rôle.

Ce dernier groupe d'élèves a ainsi évoqué l'importance que revêtaient à leurs yeux les avancées en médecine pour augmenter l'espérance de vie. Nous allons justement examiner à présent ce que les différents groupes ont relevé dans le tableau leur demandant d'indiquer quels sont, selon eux, les points les plus importants dans ce texte de synthèse.

9.2 Les thèmes considérés comme les plus importants du texte par les élèves

Les neuf groupes d'élèves ont indiqué chacun plusieurs thématiques dans la case où nous leur demandions de répertorier quels étaient les points leur semblant les plus importants du texte qu'on venait de leur distribuer. Nous les avons regroupés en fonction du thème auxquels ils se rattachaient. Nous avons ainsi fait émerger quatre catégories thématiques permettant d'englober toutes les propositions des élèves :

4. *http ://www.rtflash.fr/nanotechnologies-prochaine-revolution-medecine/article consulté le 31/01/2012*
5. *Source : idem 7*
6. Il y est en effet écrit :

"Concernant l'Humain, les projets ne manquent pas non plus : Nanomédecine tout d'abord (thérapies pratiquées par des nanorobots injectés dans l'organisme, médicaments délivrés par nanocapsules) avec pour conséquence possible un allongement encore important de l'espérance de vie, mais bientôt, nano augmentations de tous ordres, grâce à des nano implants, afin d'améliorer les capacités motrices, perceptives ou cognitives du corps ou du cerveau." (cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste)

- les questions sanitaires et environnementales et la prise en compte du coût des recherches en toxicologie,
- les problèmes de protection des libertés,
- les retombées attendues pour la médecine et en matière économique et sociale,
- les rapports entre développements des nanotechnologies et démocratie.

Nous allons examiner tour à tour ce que les élèves ont écrit sur chacun de ces thèmes.

9.2.1 L'importance des questions sanitaires et environnementales

Comme le montre le tableau 9.1, sept groupes d'élèves sur neuf répertorient les questions sanitaires et/ou les questions environnementales soulevées par les développements des nanotechnologies parmi les objets de préoccupations qu'ils considèrent comme les plus importants du texte.

Groupe	Points qui vous semblent les plus importants dans cette synthèse :	Pourquoi pensez vous que ces points sont les plus importants ?
ex-Académie de médecine	La sécurité $\begin{cases}\text{des informations}\\ \text{sur la santé}\end{cases}$	notre vie est exposée
ex-Amis de la Terre	Risque sur la santé non évalué et potentiellement dangereux, il faudrait donc un MORATOIRE !	- si l'ont meurt, les nanoparticule ne vont servire à rien.
ex-AFT	• nanos = effets néfastes sur le corps et l'environnement • peu de réglementat° sur leurs utilisat°	Continuer recherche pour connaître risque et savoir où sont présentes les nanoparticules
ex-CFE-CGC	RISQUES des nanotechnologies	- protection de la santé et de l'environnement
ex-CNIL	L'environnement	Les problèmes pouvant apparaître
ex-CNRS-CEA	Risques sur la santé dont les effets demeurent inconnus	-
	Risques sur l'environnement	-
ex-INRS	Risques sur l'environnement	Ecosystème bouleversé, qui se répercutera sur nous.
	Risques sur la santé	On ne connaît pas tous les risques, et si on développe les nanos, il pourrait y avoir de graves répercussions

Table 9.1 – Groupes d'élèves citant les problèmes sanitaires et/ou environnementaux parmi les points leur paraissant essentiels dans la synthèse réalisée à partir de leurs présentations.

9.2.1.1 Des dimensions de la controverse considérées comme essentielles par principe

Parmi ces groupes qui ont souligné l'importance qu'ils accordaient aux interrogations sanitaires et/ou environnementales, certains n'ont pas donné de spécifications pour justifier pourquoi cette dimension de la controverse leur semblait essentielle.

Ainsi, les élèves qui lors du jeu de rôle avaient étudié le cahier d'acteurs du CNRS et du CEA, n'ont donné aucune précision sur les raisons pour lesquelles ils considéraient cette dimension du débat comme importante.

Les élèves ayant travaillé sur le cahier de la CFE-CGC ont eux justifié ce choix en écrivant "protection de la santé et de l'environnement". Cette explication semble posée comme un principe, puisque les élèves l'ont positionnée dans la case justification. On peut ainsi juste en déduire que ces élèves attachent de l'importance aux questions de protection de la santé et de l'environnement.

9.2.1.2 Un accent sur l'incertitude

Plusieurs élèves (4 groupes sur 9) utilisent par ailleurs des tournures qui soulignent l'incertitude entourant les effets de l'utilisation des nanotechnologies pour la santé ou pour l'environnement.

Le groupe qui avait étudié le cahier du CNRS et du CEA parlent ainsi de *"Risques sur la santé dont les effets demeurent inconnus"*.

Les élèves ayant analysé le cahier d'acteurs de l'INRS écrivent : *"On ne connaît pas tous les risques, et si on développe les nanos, il pourrait y avoir de graves répercussions"*.

Ceux qui avaient eu entre les mains le texte de la CNIL ont mentionné des *"problèmes pouvant apparaître*".

Enfin, les élèves qui avaient travaillé sur le cahier d'acteurs des Amis de la Terre ont fait référence au *"Risque sur la santé non évalué et potentiellement dangereux"*.

9.2.1.3 Des élèves qui se sentent directement concernés

Comme cela apparaît dans ce tableau 9.1, ces élèves qui lors du jeu de rôle avaient étudié le document des Amis de la Terre ont, en outre, souligné les conséquences possibles des développements des nanoparticules sur les humains. Ce sont ici les seules à spécifier que ce sont les nanoparticules qui sont en cause.

Par ailleurs, la tournure qu'elles emploient "si l'on meurt", utilisant le pronom indéfini "on", laisse entendre que ces conséquences pourraient toucher n'importe qui, elles y compris. Elles nous paraissent ainsi se sentir directement concernées par ces questions. Cette impression se dégage aussi de deux autres justifications apportées par d'autres groupes d'élèves.

Les élèves qui avaient étudié le cahier d'acteurs de l'académie de médecine lors du jeu de rôle, comme ceux qui s'étaient penchés sur le cahier d'acteurs de l'INRS, utilisent ainsi la première personne du pluriel pour expliquer les raisons de cette importance accordée aux questions sanitares ou environnementales.

> *"notre vie est exposée"*
> *"Ecosystème bouleversé, qui se répercutera sur nous."*

Ces élèves indiquent donc qu'ils s'incluent parmi ceux qui subiront les conséquences des choix de développer ou d'utiliser des produits contenant des nanoparticules.

9.2.1.4 Deux propositions d'actions

Enfin, les élèves qui avaient étudié le document des Amis de la Terre formulent aussi une proposition sur la conduite à adopter : elles réclament un moratoire en lettres majuscules assorties d'un point d'exclamation.

D'autres élèves ont par ailleurs évoqué des pistes pour l'action. Les élèves qui ont étudié le cahier d'acteurs de l'Association Française Transhumaniste et qui ont étudié spécifiquement les questions sanitaires et environnementales lors de la séance consacrée aux recherches documentaires, suggèrent ainsi de *"Continuer* [la] *recherche pour connaître* [le] *risque et savoir*

où sont présentes les nanoparticules". Leur remplissage du tableau présente toutefois un problème logique. Les élèves placent en effet leurs propositions d'actions à engager comme une justification de ce qui leur semble important. Ce groupe est enfin le seul à avoir mentionné le problème de la réglementation parmi ceux qu'elles considéraient comme essentiels.

Finalement ce passage en revue des réponses se rapportant aux questions sanitaires et environnementales de la controverse met en lumière que la plupart des élèves acceptent l'idée que les nanoparticules et les nanomatériaux pourraient être dangereux pour la santé et que quatre groupes sur neuf soulignent les incertitudes entourant leur dangerosité. Certains élèves se sentent directement concernés. Par ailleurs, seuls deux groupes mettent l'accent sur des actions qui pourraient permettre de prendre en compte cette dangerosité.

9.2.1.5 Un intérêt pour les questions de toxicité qui transparaît en filigrane

Si sept groupes d'élèves sur neuf ont explicitement mentionné les questions sanitaires et/ou environnementales, les deux groupes restant ont pour leur part mentionné le problème du coût de l'évaluation de la toxicité des nanoparticules parmi les points leur paraissant les plus importants de cette synthèse (voir tableau 9.2).

Groupe	Points qui vous semblent les plus importants dans cette synthèse :	Pourquoi pensez vous que ces points sont les plus importants ?
ex-FSC	Coûts	→ Pour chaque nanoparticules, il faudra 2 millions d'euros
ex-FEBEA	Le coût des nanotechnologies	Pour 1 particule = 2 Millions d'€ ou trouver l'argent ?

Table 9.2 – Accent mis sur le coût des nanotechnologies, si l'on tient compte des budgets nécessaires pour évaluer la toxicité

L'un des groupes se questionne même "où trouver l'argent ?".

Leur intérêt pour les interrogations relatives à la toxicité des substances "nano" transparaît donc aussi en filigrane dans les fiches qu'ils ont remplies lors de cette séance de synthèse.

9.2.2 Des problèmes de protection des libertés et des données qui préoccupent tous les élèves

Si la grande majorité des élèves regardent les questions sanitaires et environnementales posées par les développements des nanotechnologies comme un problème de première importance, tous les groupes d'élèves ont aussi indiqué que les interrogations relatives à la protection des libertés et aux atteintes à la vie privée figuraient parmi les thématiques leur paraissant essentielles dans la synthèse. C'est ce que montre le tableau 9.3.

De nouveau, le groupe qui avait étudié le cahier d'acteurs du CNRS et du CEA lors du jeu de rôle n'a avancé aucune justification pour expliquer sa prise en considération de ce questionnement en particulier. Tous les autres groupes ont en revanche proposé au moins une raison pour expliquer pourquoi cette dimension des débats leur paraissait majeure.

9.2.2.1 Des élèves qui se sentent directement concernés par ces questions

Quatre groupes ont utilisé la première personne du pluriel ou le pronom indéfini "on" pour préciser certains de leurs motifs. C'est le cas des élèves ayant étudié respectivement les cahiers de l'Académie de Médecine, des Amis de la Terre, de la CFE-CGC et de la FEBEA.

Groupe	Points qui vous semblent les plus importants dans cette synthèse :	Pourquoi pensez vous que ces points sont les plus importants ?
ex-Académie de Médecine	La sécurité $\begin{cases} \text{des informations} \\ \text{sur la santé} \end{cases}$	notre vie est exposé e
ex-AFT	RFID → bonne chose mais contient certains risques	Risques non négligeable comme sécurité, liberté d'expression...
ex-Amis de la Terre	Risque d'atteinte à la vie privé par des utilisateurs mal intentioné et d'agression moral sur leur différence	- on doit être libre de nos mvt.
ex-CFE-CGC	la liberté de chacun	- Préserver nos droits
ex-CNIL	Protection des libertés	↪ sécurité de la vie personnelle
ex-CNRS-CEA	Violation des libertés individuelles	-
ex-FEBEA	Les puces	On aura plus de vie privé, on sera tout le temps tracé
ex-Fondation Sciences Citoyennes	Protection des données	car il est vraiment facile de prelever les informations
ex-INRS	Risques sur les libertés	Dangereux car ont pourrait avoir toutes les données de tout le monde, plus de confidentialité

Table 9.3 – Justifications apportées par les élèves où ils s'expriment à la première personne du pluriel ou utilisent le pronom indéfini on.

On peut de nouveau faire l'hypothèse que ces élèves se sentent personnellement concernés par ces questions.

Ces justifications posent par ailleurs comme principe l'importance de préserver les droits ou les libertés de chaque individu :

> *"notre vie est exposée"*
> *"On aura plus de vie privé, on sera tout le temps tracé"*
> *"- Préserver nos droits"*
> *"- on doit être libre de nos mvt."*

9.2.2.2 Des groupes qui mettent l'accent sur les problèmes de protection des données

Plusieurs groupes d'élèves abordent plus spécifiquement le problème de la protection des données.

Les élèves ayant étudié le cahier d'acteurs de l'INRS proposent, pour expliquer que la mise en danger des libertés ait retenu leur attention, une justification basée sur scénario hypothétique où l'accès aux données sur les individus serait banalisé.

> *"Dangereux car ont pourrait avoir toutes les données de tout le monde, plus de confidentialité"*

On peut en ce sens rapprocher cette justification de ce qu'ont écrit les élèves ayant étudié le cahier d'acteurs de la FEBEA qui, eux aussi, ont imaginé un scénario futur :

> *"On aura plus de vie privé, on sera tout le temps tracé"*

Par ailleurs, les élèves qui avaient travaillé lors du jeu de rôle sur le document de la Fondation Sciences Citoyennes, justifient cette importance accordée à la protection des données en avançant une considération technique relative à la facilité avec laquelle on peut prélever les informations. Cette justification peut être mise en regard avec le contenu des présentations lors desquelles les problèmes de sécurité des dispositifs avaient été mentionnés [7].

9.2.2.3 Des groupes qui mettent l'accent sur la protection de la vie privée

Si les questions de confidentialité sont explicitement mentionnées, certains élèves font aussi allusion spécifiquement aux problèmes de protection de la vie privée.

Pour justifier que les questions relatives à la sécurité des informations leur semblaient importantes, les élèves ayant étudié le cahier d'acteurs de l'académie de médecine ont par exemple indiqué :

> *"Notre vie est exposée".*

Cette tournure peut laisser entendre qu'ils se réfèrent à des problèmes de protection de la vie privée.

Deux autres groupes mentionnent aussi ce problème en particulier. Comme nous l'avons déjà relevé, le groupe ayant étudié le cahier de la FEBEA a écrit :

> *"On aura plus de vie privé, on sera tout le temps tracé"*

Quant aux élèves qui ont travaillé sur le cahier des Amis de la Terre lors du jeu de rôle, elles ont indiqué :

---

7. Dans le document de synthèse, il est en effet écrit à propos de sécurité des données :

> *"- D'après le site rfidfr.org, tout le monde peut lire les informations d'une RFID. Il suffit juste d'avoir un émetteur d'ondes radio pour prélever les informations. Il n'y a donc aucune protection des données, si tout le monde peut les lire. (...)*
> *- Enfin l'article de Wikipédia raconte qu'un groupe de hackers à New York a prétendu avoir clôné les identifications d'une puce RFID implantable sous la peau à cause d'une sécurité trop souple."*

"Risque d'atteinte à la vie privé par des utilisateurs mal intentioné et d'agression moral sur leur différence"

9.2.2.4 Des groupes qui mettent l'accent sur la "sécurité des individus"

Enfin, certains élèves parlent aussi plus largement des problèmes de "sécurité des individus".

Parmi eux, le groupe qui a étudié le cahier des Amis de la Terre et qui a travaillé sur les questions de protection de libertés lors des recherches documentaires parlent *"d'agression morale"* des individus *"sur leur différence"*. On peut supposer qu'elles se réfèrent au passage de la synthèse qu'elles ont entre les mains et qui reprend ce qu'elles-mêmes avaient avancé lors de l'exposé suivant leurs recherches documentaires :

> *"On peut aussi lire sur Wikipédia que certaines personnes pourraient utiliser les informations contenues par les marqueurs de passeports pour agresser sélectivement les personnes."*

De leur côté, le groupe d'élèves qui, lors du jeu de rôle, avait étudié le cahier d'acteurs de la CNIL parle de *"sécurité de la vie personnelle"*.

Enfin, les élèves qui, lors du jeu de rôle, avaient étudié le cahier de l'association Française Transhumaniste, parlent aussi de "sécurité", mais sans donner non plus plus de détails. Ce groupe se singularise aussi en déclarant que les RFID sont une "bonne chose" même si leur utilisation comporte certains risques "non négligeables".

Si ces élèves sont ici les seules à déclarer que les RFID peuvent être une bonne chose, tous les groupes ont néanmoins aussi souligné certaines retombées des nanotechnologies qu'ils jugent désirables pour nos sociétés.

9.2.3 L'importance des bénéfices que pourraient apporter les nanotechnologies

Parmi les aspects qu'ils jugent importants dans la synthèse qui leur a été distribuée, de nombreux groupes d'élèves citent diverses possibilités ouvertes par les nanotechnologies.

9.2.3.1 Des références au "progrès"

Certains parlent globalement de "progrès technique" ou "d'avancée technologique", comme le montre le tableau 9.4.

Groupe	Points qui vous semblent les plus importants dans cette synthèse :	Pourquoi pensez vous que ces points sont les plus importants ?
ex-CNIL	Les avancées technologiques	Le progrès (médicament, électrique...)
ex-CNRS-CEA	Progrès technique	→ "troisième révolution industrielle"

Table 9.4 – Mise en avant des progrès technologiques

Pour justifier que le "progrès technique" leur semble important, les élèves qui avaient étudié le cahier d'acteurs de la CNIL lors du jeu de rôle reprennent le vocable de "troisième révolution industrielle". Ils ne développent cependant pas en quoi cette révolution leur semble importante.

Par ailleurs l'autre groupe, pour expliquer pourquoi le fait que les "avancées technologiques" promises par les nanotechnologies sont une bonne chose, met en avant l'idée de progrès.

Ils citent deux exemples et parmi eux les nouveaux médicaments. Ce ne sont d'ailleurs pas les seuls à souligner les perspectives ouvertes dans le domaine médical.

9.2.3.2 Les perspectives ouvertes pour la médecine mentionnées par de nombreux élèves

Sept groupes en tout considèrent cette dimension des débats comme l'un des points les plus importants de la synthèse des présentations des élèves. C'est ce que montre le tableau 9.5. Parmi les justifications apportées, trois groupes d'élèves (dont les deux qui avaient travaillé sur

Groupe	Points qui vous semblent les plus importants dans cette synthèse :	Pourquoi pensez vous que ces points sont les plus importants ?
ex-FSC	Progrès sur la médecine	→ Permet de faire avancer les recherches contre le cancer
ex-CFE-CGC	- les avancées en médecine grâce aux nanotechnologie	- sauver des vies humaines
ex-FEBEA	L'utilisation en medecine	Les nanos pourraient soigner le cancer
ex-AFT	nanotechnologies en médecine	→ soigner cancers, mieux acheminer médoc
	important pour l'économie, l'écologie, la médecine, social	nouvelle révolut° industrielle, chiffre d'affair imp. moins de pollution creation d'emploi avancé medical : medicament, diagnostic medical
ex-CNIL	Les avancées technologiques	Le progrès (médicament, électrique...)
ex-INRS	Avantages	Avancées : santé, pollution... Retombées économiques
ex-Amis de la Terre	Présentation des avantages de la nano (santé ; environnement)	C'est un pas en avant, un progrès ammenant emplois et richesses

Table 9.5 – Sept groupes mettent l'accent sur l'importance des utilisations des nanotechnologies pour la médecine

les utilisations en médecine des nanotechnologies) mettent en avant les contributions possibles des nanotechnologies à la lutte contre le cancer, trois remarquent qu'elles pourraient permettre d'améliorer les traitements médicamenteux. Enfin, un groupe a cité aussi les outils pour le diagnostic comme illustration des retombées pour la médecine.

9.2.3.3 Des références aux utilisations pour protéger l'environnement

Outre les perspectives ouvertes dans le domaine médical, les utilisations des nanotechnologies pour protéger l'environnement reviennent aussi à plusieurs reprises dans les tableaux remplis par les élèves. Quatre groupes ont ainsi mentionné explicitement les avancées en matière de lutte contre la pollution, les avantages pour l'environnement ou l'écologie (voir tableau 9.6).

Groupe	Points qui vous semblent les plus importants dans cette synthèse :	Pourquoi pensez vous que ces points sont les plus importants ?
ex-FSC	Environnement	→ car on pourrait utiliser des énergies moins polluantes
ex-INRS	Avantages	Avancées : santé, pollution... Retombées économiques
ex-Amis de la Terre	Présentation des avantages de la nano (santé ; environnement)	C'est un pas en avant, un progrès ammenant emplois et richesses
ex-AFT	important pour l'économie, l'écologie, la médecine, social	nouvelle révolut° industrielle, chiffre d'affair imp. moins de pollution creation d'emploi avancé medical : medicament, diagnostic medical

Table 9.6 – Importance accordée aux applications pour l'environnement

9.2.3.4 Des références aux retombées économiques promises

Enfin, parmi les aspects qui leur semblent les plus importants, de nombreux élèves soulignent les retombées économiques et sociales "positives" des nanotechnologies (voir tableau 9.7).

Groupe	Points qui vous semblent les plus importants dans cette synthèse :	Pourquoi pensez vous que ces points sont les plus importants ?
ex-CNIL	La création d'emploie	nouvelle entreprise
ex-INRS	Avantages	Avancées : santé, pollution... Retombées économiques
ex-ANM	Le développement	3ème révolution industrielle + d'argent + d'emplois
ex-Amis de la Terre	Présentation des avantages de la nano (santé ; environnement)	C'est un pas en avant, un progrès ammenant emplois et richesses
ex-AFT	important pour l'économie, l'écologie, la médecine, social	nouvelle révolut° industrielle, chiffre d'affair imp. moins de pollution creation d'emploi avancé medical : medicament, diagnostic medical

Table 9.7 – Accent sur les retombées économiques des nanotechnologies

Deux groupes reprennent dans leur justification l'expression de "nouvelle révolution industrielle" et mentionnent dans le même temps les sommes d'argent en jeu et les perspectives de création d'emplois. "Richesses" et "emplois" sont aussi cités par les élèves qui lors du jeu de rôle avaient étudié le cahier des Amis de la Terre. Elles écrivent d'ailleurs pour expliquer pourquoi elles estiment que "la présentation des avantages de la nano" est un point important, que c'est "un pas en avant, un progrès".

L'idée que les développements des nanotechnologies vont permettre des avancées dans différents domaines et vont permettre de dégager des bénéfices et de créer de l'emplois est

donc très présente dans les fiches remplies par les élèves.

9.2.4 Transparence, information des citoyens, et prise en compte de l'avis de la population

Un dernier thème apparaît enfin dans les inventaires réalisés par les élèves des points qui leur semblent importants. Il est relatif à la manière dont les citoyens peuvent se saisir des questionnements soulevés par les développements des nanotechnologies.

Comme le met en évidence le tableau 9.8, cinq groupes d'élèves soulignent l'absence d'information des citoyens ou bien demandent que l'information de la population sur les nanotechnologies soit améliorée.

Groupe	Points qui vous semblent les plus importants dans cette synthèse :	Pourquoi pensez vous que ces points sont les plus importants ?
ex-ANM	La transparence	être plus informer
ex-CNIL	Les risques	Ils sont encore inconnu de la population
ex-FSC	Informer les citoyens	→ Car ils ne sont pas au courant des risques → avis, expression des citoyens
ex-Amis de la Terre	Citoyen devrait être informé des recherches et des risques et pouvoir choisir où non d'acheter des produits contenant les nanotechnolo	- car ils sont les premiers conserné et les futurs consomateur
ex-AFT	demander l'avis à la population et mieux l'informer	Nous sommes en démocratie

Table 9.8 – Des propositions qui se rapportent aux questions sur la manière dont sont développées les nanotechnologies en démocratie

Parmi eux, le groupe qui a étudié le cahier d'acteurs de l'académie de médecine lors du jeu de rôle estime que "la transparence" est l'un des points qui lui semble essentiel dans la synthèse qui leur a été distribué. Le terme est de leur fait car il ne figurait pas dans le texte qui leur a été remis. Comme justification, ils demandent d' *"être plus informer"*. Ils formulent ainsi une recommandation plutôt que de détailler les raisons pour lesquelles ils estiment que ces efforts sont nécessaires.

Par ailleurs, parmi ces groupes d'élèves qui ont fait figurer le problème de l'information des citoyens dans leurs tableaux, plusieurs le mettent en perspective avec les "risques" des nanotechnologies.

Le groupe qui a étudié le cahier de la CNIL estime que la question "des risques" est un point important et il justifie cette importance en soulignant que la population ne les connaît pas.

De son côté, le groupe qui a étudié le cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes lors du jeu de rôle, regarde l'information des citoyens comme quelque chose d'important notamment parce qu' *"ils ne sont pas au courant des risques"*.

Cet accent sur l'information des citoyens pour les mettre au fait des "risques" des nanotechnologies se retrouve dans les quelques lignes notées par les élèves qui ont analysé le cahier des Amis de la Terre. Plus précisément, ces élèves considèrent que les citoyens devraient être informés *"des recherches et des risques"*. Elles mettent par ailleurs l'accent sur l'importance de laisser le choix aux consommateurs d'acheter ou non des produits "contenant

des nanotechnologies". En outre, pour justifier ces demandes, elles font écho à ce qu'ont mis en avant les élèves étudiant les rapports entre développements des nanotechnologies et démocratie lors de la recherche documentaire : elles écrivent en effet que les citoyens sont *"les premiers concernés"*.

Enfin, deux groupes d'élèves font référence dans leur tableau à l'idée de consultation des citoyens pour recueillir leur avis sur les nanotechnologies. Les élèves ayant travaillé sur le cahier de la Fondation Sciences Citoyennes justifient ainsi que l'information des citoyens leur semble importante en écrivant :

> *"avis, expression des citoyens"*.

On peut faire l'hypothèse ici qu'elles estiment que l'information des citoyens est nécessaire pour leur permettre de s'exprimer sur les questions soulevées par les développements des nanotechnologies.

L'autre groupe qui traite de consultation des citoyens est plus explicite : il lui semble important de demander l'avis de la population et de mieux l'informer. Ces élèves justifient cet accent sur la prise en compte de l'avis des citoyens dûment informés en déclarant :

"nous sommes en démocratie".

Elles semblent donc poser comme un principe qu'en démocratie, les citoyens ont de participer aux choix d'orientations scientifiques et technologiques.

9.3 Discussion

Ce passage en revue des points que les élèves ont jugés les plus importants de la synthèse met une nouvelle fois en évidence que les élèves se sentent interpellés par les questions sanitaires et environnementales soulevées par les nanotechnologies et par les questions de protection des libertés. Ils accordent aussi de l'importance aux avancées que laissent augurer le développement des nanotechnologies. Enfin, un peu plus d'un groupe sur deux s'intéressent aux rapports entre développements des nanotechnologies et démocratie, essentiellement par le biais de l'information des citoyens.

Afin de mettre en lumière comment évolue l'appréhension de la controverse par les élèves au fil des activités, ces résultats peuvent être mis en regard avec le contenu de la discussion qui avait suivi le jeu de rôle, lors de la première séance de la séquence. L'analyse de ces échanges nous avait permis de constater que les élèves s'emparaient plus facilement des questionnements portant sur les productions et les domaines d'utilisation des nanotechnologies que des interrogations portant sur la manière dont les nanotechnologies sont développées en société. Les élèves affichaient de plus leur désir de savoir ce que les nanotechnologies "allaient apporter". Nous avions aussi noté que plusieurs d'entre eux opposaient de manière binaire les bénéfices des nanotechnologies à leurs risques.

Ces différents points se retrouvent d'une certaine manière dans l'analyse des éléments que les élèves jugent les plus importants dans la synthèse, que nous venons de présenter. Parmi les thèmes que les élèves font ressortir du texte produit à partir de leurs présentations, figurent en effet les questions relatives "aux risques" (pour la santé, pour l'environnement, mais aussi pour les libertés).

Figurent aussi les "avantages" (dans le domaine de la santé et de l'environnement et les perspectives de retombées sur l'économie et l'emploi) des nanotechnologies.

Comme lors de la discussion post jeu de rôle, les élèves semblent avoir pris acte de la dangerosité possible des nanoparticules.

Comme lors de la discussion post jeu de rôle, ils l'expriment en des termes assez généraux.

Comme lors de la discussion post jeu de rôle, quelques groupes proposent aussi des pistes d'action pour prendre en compte ces problèmes sanitaires et environnementaux.

À ce propos, dans cette dernière activité, les deux groupes d'élèves qui formulent des recommandations pour l'action, sont celles qui ont travaillé spécifiquement ces questions lors de la recherche documentaire et celles qui ont étudié le cahier d'acteurs des Amis de la Terre dont elles se sont appropriées l'une des recommandations de cette organisation.

Enfin, toujours par rapport au traitement des questions sanitaires et environnementales proposé au travers de la discussion post-jeu de rôle, un élément de discussion supplémentaire est apparu : celui du coût des recherches en toxicologie.

Si l'importance des enjeux sanitaires et environnementaux avait été soulignée par plusieurs élèves lors de la discussion post-jeu de rôle, peu d'élèves avaient en revanche évoqué les questions de protection des libertés. Ces interrogations avaient été introduites dans le débat essentiellement par l'élève qui avait représenté la CNIL et hormis ceux qui avaient étudié le cahier d'acteurs de cette commission, seule une élève y avait fait brièvement écho en toute fin de discussion. Cette situation contraste assez fortement avec la manière dont les élèves ont ici rempli leurs tableaux puisque tous les groupes ont mentionné des éléments se rapportant à la protection des libertés.

Par ailleurs, la manière dont les utilisations des nanotechnologies en médecine sont convoquées par les élèves dans cette dernière activité contraste également avec la façon dont les élèves avaient discuté ce thème après le jeu de rôle. La discussion avait alors porté sur les possibilités d'amélioration des performances humaines. Ici ce thème de réflexion n'a été mentionné par aucun groupe d'élèves. Ceci est sans doute dû au fait qu'il n'apparaissait pas dans la synthèse fournie aux élèves puisqu'aucun des groupes travaillant cette thématique n'avait repris ces questionnements lors de leurs recherches documentaires. Aucun élève ne les a alors ré-introduits ici. L'accent sur les utilisations en médecine a donc uniquement été mis pour souligner les potentielles "avancées", les "progrès" ou les "avantages".

Si l'accent sur les utilisations en médecine des nanotechnologies est mis seulement sur les "avancées" promises dans ce domaine, plusieurs élèves mettent aussi plus largement en avant l'idée de "progrès"[8]. Bien que nous ne puissions pas en être absolument sûr, il nous semble que les élèves l'utilisent ici en lui donnant une connotation positive et sans l'interroger. Le progrès technologique semble posé comme un principe, comme quelque chose de positif pour nos sociétés et de désirable en tant que tel. En ce sens, les élèves ne nous semblent pas reprendre ici les discussions questionnant cette notion de progrès, comme le font par exemple la Fondation Sciences Citoyennes ou les Amis de la Terre dans leurs cahiers d'acteurs[9].

8. *"C'est un pas en avant, un progrès"* écrivent les élèves qui ont étudié le cahier d'acteurs des Amis de la Terre.

Le groupe qui a travaillé le cahier d'acteurs du CNRS et du CEA parle aussi de *"progrès technique"* sans développer autrement les raisons qui fondent l'importance qu'ils accordent à cet aspect, qu'en mentionnant l'expression de *"troisième révolution industrielle"*.

Enfin, le groupe qui a exploité le cahier d'acteurs de la CNIL estime que les *"avancées technologiques"* sont un point important et justifie cette importance en mettant en avant "*le progrès*".

9. La Fondation Sciences Citoyennes proposait en effet comme sous-titre de son cahier :

> *"Pour faire la différence entre la démarche et les finalités scientifiques décidées par les citoyens et une croissance aveugle conçue comme un progrès uniquement technique" (cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes)*

et les Amis de la Terre abordaient le problème des priorités de recherche permettant de faire face au mieux aux défis qui se posent à nos sociétés en écrivant :

> *"Sous prétexte d'innovation, les pouvoirs publics financent en priorité la recherche appliquée, pour de nouvelles technologies, asséchant tous les fonds au détriment d'autres explorations qui pourraient être plus utiles socialement. C'est ainsi que le « technoscientisme » nous détourne de la résolution des véritables problèmes de société qui indifférent les financeurs : les inégalités, la préservation du milieu, l'accès équitable aux ressources, l'éducation, etc." (cahier d'acteurs des Amis de la Terre)*

Enfin, au travers de l'analyse de la discussion post-jeu de rôle nous avions noté que les questionnements relatifs à la manière dont le projet de développement des nanotechnologies était mis en œuvre, étaient restées au second plan dans la discussion.

Ici deux groupes d'élèves ont directement fait référence à l'importance de permettre aux citoyens de donner leur avis. Par ailleurs, plusieurs groupes d'élèves (cinq sur neuf) ont mentionné que les questions d'information des citoyens leur importaient.

Ce sentiment que tous les citoyens sont directement intéressés par les développements des nanotechnologies se retrouve d'ailleurs dans plusieurs propositions notées sur les fiches des élèves et pas seulement lorsqu'ils traitent d'information de la population. Plusieurs groupes utilisent ainsi le pronom indéfini "on" ou la première personne du pluriel pour rendre compte des questionnements sanitaires et environnementaux ou des questions de traçage des individus.

Finalement cet examen des thèmes que les élèves considèrent les plus importants dans ceux développés dans la synthèse montre que tous les groupes d'élèves considèrent plusieurs dimensions de questionnements. Toutefois, par rapport à la discussion qui avait suivi le jeu de rôle, certains élèves semblent accorder plus d'importance à de nouvelles dimensions de questionnement. En particulier cinq groupes d'élèves, de manière plus ou moins prononcée, ne mettent plus l'accent seulement sur les productions et les effets des nanotechnologies, mais aussi sur la manière dont les citoyens peuvent s'approprier ces enjeux.

9.4 Les questions préparées par les élèves

Après avoir rempli ces tableaux où ils ont fait figurer les objets de questionnement qui revêtaient de l'importance à leurs yeux, chaque groupe d'élèves a préparé une question portant sur l'un des points de la synthèse leur paraissant parmi les plus importants. Trois mois après la mise en œuvre de cette séquence pédagogique, un physicien devait en effet venir au lycée pour parler devant l'ensemble des premières S de l'établissement. Ces questions lui étaient donc destinées. Ce chercheur faisait par ailleurs partie des encadrants des ateliers auxquels les élèves avaient participé lors de leur venue à Nano@school, la semaine précédente.

L'exercice demandé aux élèves a conduit à un ensemble de questions. Nous les examinons ici thématique par thématique.

9.4.1 Des questions sur les "risques" sonnant comme des interpellations et une remise en cause des discours tenus lors de Nano@school

Deux questions portent sur les "risques" des nanotechnologies et sur leur prise en compte.

> *"Vous qui développez les nanotechnologies, êtes-vous conscient des risques et est-ce que vous les prenez en compte ?*
>
> *On s'est renseigné, et on sait que les nanomatériaux peuvent être nocifs, et avoir de graves conséquences, notamment parce qu'étant minuscules, elles peuvent facilement traverser les barrières du corps."*
>
> *(Question formulée par le groupe qui a étudié le cahier de l'INRS et travaillé sur les enjeux économiques et sociaux des nanotechnologies)*

> *"Lorsque nous sommes venus à Grenoble, vous nous avez vanté les mérites des nanotechnologie, mais vous n'avez jamais evoqué les eventuels risques qu'elle peuvent apporter. Avez-vous pris en compte les risques lors de leur developpement ?"*

(Question formulée par le groupe qui a étudié le cahier de la CFE-CGC et travaillé sur les rapports entre développement des nanotechnologies et démocratie)

Ces deux questions sonnent comme des interpellations du scientifique invité au lycée. La dernière d'entre elle apparaît de plus comme une réaction faisant suite à la participation des élèves à Nano@school puisque les élèves font une référence explicite à leur venue à Grenoble. La formulation de cette question pose toutefois problème à une élève qui la juge agressive.

189	Miriam (ex-AdlT)	Bah l'idée elle est bien mais je trouve que la question elle est vraiment... elle est vraiment agressive et critique.
190	Gestionnaire de la discussion	Elle est vraiment agressive et critique ? Ça te gêne de poser cette question là euh ?
191	Miriam (ex-AdlT)	Moi personnellement ouais... Enfin... Parce que...
192	Gestionnaire de la discussion	Alors, ouais ? Pourquoi ça te gêne ? Tu trouves que c'est...
193	Miriam (ex-AdlT)	Il faut un peu moins
194	Voix de fille	Là c'est laquelle euh ?
195	Miriam (ex-AdlT)	La, la... Bah celle qui est deuxième.
196	Françoise (enseignante)	La deuxième ?
197	Miriam (ex-AdlT)	Lorsque nous sommes venus à Grenoble. Je trouve c'est, on... c'est un peu une critique. On...

Nous avons alors essayé de faire expliciter aux élèves pourquoi ils avaient choisi cette formulation. En réponse, l'un des élèves a discuté de l'aperçu des nanotechnologies qui leur a été proposé à Nano@school. Selon cet élève, dans ces ateliers les intervenants sont plutôt dans une démarche de communication faisant la part belle aux "mérites" des nanotechnologies.

200	Gestionnaire de la discussion	Ceux que, ceux qui ont proposé cette question, c'était fait euh, de façon euh, c'était volontaire que vous ayez fait cette formulation un peu... agressive, je sais pas... *(quelques rires)*
201	Laurent (ex-CFE-CGC)	Non mais c'est... *(il y a des rires)* C'est pas non plus pour être méchant mais...
202	Gestionnaire de la discussion	C'est pour être critique par rapport à ce qu'ils ont ?
203	Laurent (ex-CFE-CGC)	Ouais *(il dit quelque chose à Matteo qu'on n'entend pas sur la bande vidéo)*
204	Gestionnaire de la discussion	Ouais euh, qu'est-ce que tu voulais rajouter ?
205	Corentin (ex-ANM)	Bah moi je pense qu'elle est bien parce que les risques la personne elle nous en parlera peut-être de la euh, lors de la conférence mais bon là on va à Grenoble, ils travaillent sur les nanotechnologies. C'est sûr qu'ils ont plus envie de nous présenter leurs mérites et de nous présenter les nanotechnologies sans parler trop des risques.
206	Gestionnaire de la discussion	Hunhun. Vous, vous êtes d'accord avez ça ceux qui ont posé cette question-là ? C'était l'idée de votre formulation ? *(Matteo et Laurent sourient et Matteo acquiesce)* Ouais ?

Les élèves semblent ainsi avoir été marqués par Nano@school et certains d'entre eux semblent considérer que la présentation des nanotechnologies qui leur a été proposée dans ces ateliers mettait l'accent sur les "avantages" des nanotechnologies en occultant les interrogations que posent leur développement en matière de risques. Les élèves portent donc une critique envers les discours tenus lors des ateliers Nano@school qui leur semblent orientés vers la promotion des nanotechnologies.

9.4.2 Des questions sur les atteintes à la vie privée pour laquelle ils ont déjà des éléments de réponse

Deux groupes d'élèves ont par ailleurs proposé des questions abordant plus spécifiquement les questions d'atteinte à la vie privée des individus.

> *"Est-ce que l'utilisation des nanotechnologies pourra violer la vie privée des individus ?"*
> *(Question formulée par le groupe qui a étudié le cahier du CNRS et du CEA et travaillé sur la protection des libertés)*

> *"Les nanotechnologies peuvent porter atteinte à la vie privée des citoyens... Où s'arrêtera cette atteinte ?"*
> *(Question formulée par le groupe qui a étudié le cahier de la FEBEA et travaillé sur les utilisations en médecine des nanotechnologies)*

Ces deux groupes d'élèves posent ici des questions pour lesquelles ils ont déjà en main des éléments de réponse. On peut donc s'interroger sur la teneur des interventions qu'ils attendent de la part de l'expert. Cherchent-ils son assentiment ? Espèrent-ils que sa réponse vienne corroborer ce qu'ils ont lu ailleurs ? Est-ce de nouveau une façon d'interpeler le scientifique sur les enjeux des développements des nanotechnologies qu'ils ont eux-mêmes identifiés ?

Par ailleurs, ces deux groupes d'élèves emploient le futur de l'indicatif, comme s'ils attendaient du chercheur qu'il leur prédise ce qu'il va advenir.

9.4.3 Une question sur les créations d'emploi permises par les nanotechnologies

Ce type de formulation demandant au scientifique de prédire quelles seront les conséquences des développements des nanotechnologies se retrouve à plusieurs reprises dans les phrases préparées par les élèves. Ainsi le groupe qui a travaillé sur le cahier d'acteurs de la CNIL voudrait demander au chercheur quelles seront les retombées des nanotechnologies en matière d'emploi.

> *"Y aura-t-il une forte création d'emploie grace aux nano tech."*
> *(Question formulée par le groupe qui a étudié le cahier de la CNIL et travaillé sur les rapports entre développement des nanotechnologies et démocratie)*

De nouveau, on peut se demander ici si les élèves ne cherchent pas à croiser le discours du chercheur invité au lycée pour donner une conférence, avec ceux qu'ils ont pu rencontrer au travers des diférentes activités de la séquence pédagogique.

9.4.4 Des questions sur l'utilité des nanotechnologies

Enfin, plusieurs groupes d'élèves ont proposé des questions relatives à l'utilité des nanotechnologies.

> *"Pensez-vous que les nanotechnologies deviendront indispensables dans l'avenir et serait-il possible de vivre sans aujourd'hui ?"*

(Question formulée par le groupe qui a étudié le cahier de la Fondation Sciences Citoyennes et travaillé sur les utilisations en médecine des nanotechnologies)

"Pensez-vous que les nanotechnologies se multipliront et deviendront essentiels dans un avenir proche ?

Dans l'avenir l'homme poura-t-il se passer des nano et des innovations qu'elle amène sur le domaine de la santé par ex sur l'environnement et la pollution, et le danger pour l'homme."

(Question formulée par le groupe qui a étudié le cahier des Amis de la Terre et travaillé sur les questions de mise en danger des libertés)

"Les nanotechnologies sont-elles vraiment utiles à l'Homme ?"

(Question formulée par le groupe qui a étudié le cahier de l'Académie de Médecine et travaillé sur les enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies)

De nouveau, au travers des deux premières questions, les élèves demandent au scientifique de leur "dire le futur". L'une des élèves du groupe des Amis de la Terre explique que cet accent qu'elles ont mis sur les perspectives futures est dû au fait que pour l'instant elles n'entendent que peu parler des nanotechnologies et que pour l'instant, leur développement, selon elles, n'a que peu de *"bons points"*.

163	Gestionnaire de la discussion	Ceux qui ont écrit euh... Ceux qui ont écrit la, la question là, la deuxième c'est... Qui est-ce qui a écrit *(Miriam, Marine et Anaïs lèvent la main)* ? Ouais ? Vous en pensez quoi vous ? Pourquoi vous avez formulé çà comme çà et *(à des élèves qui papotent)* s'il vous plaît vous pouvez baisser d'un ton et écouter les autres aussi. Ouais ?
164	Miriam (ex-AdlT)	*(bas)* Parce que... non parce que aujourd'hui on en entend pas tellement parler. Plus dans un avenir proche. Enfin
165	Gestionnaire de la discussion	J'ai pas entendu.
166	Miriam (ex-AdlT)	*(plus fort)* Aujourd'hui, c'est pas... on en entend enfin... ça a pas tellement de, de bons points, donc on va plutôt parler dans un avenir proche.
167	Gestionnaire de la discussion	Ouais ?
168	Miriam (ex-AdlT)	Parce que nous on avait parlé quand ça arrivait aux problèmes quoi... quand les problèmes seront réglés comme l'environnement, la pollution, les dangers pour l'Homme. C'est pour plus tard.

Les deux premières questions commencent de plus toutes deux par "pensez-vous". Les élèves semblent ainsi vouloir recueillir l'avis du physicien sur "l'utilité des nanotechnologies" qui les préoccupe. C'est d'ailleurs ce qu'affirme l'une des élèves qui souhaite poser l'une de ces questions en priorité.

283	Alice (ex-AFT)	On a déjà trop dit "oui que", enfin voilà... Alors la première *[question qui porte sur l'utilité des nanotechnologies],* c'est aussi son avis, mais il faut aussi qu'il donne son avis et nous, ça nous permet de voir autre chose.

Ces questions interrogent le développement des nanotechnologies en général. À ce propos, pour la dernière d'entre elles, l'enseignante de sciences physiques de la classe interpelle le groupe qui l'a proposé.

242	Françoise (enseignante)	Moi j'ai une question à poser au groupe, au groupe qui a mis "les nanotechnologies sont-elles vraiment utiles à l'Homme ?" Qui est-ce qui a posé cette question ? *(Corentin lève la main ; il y a des rires)* Non mais... Qu'est-ce que vous entendez par là ?
243	Corentin (ex-ANM)	En fait on a été un peu pris par le temps mais euh qu'est-ce qu'on entend par là ? Bah on veut... Ça rejoint un peu... Ça rejoint un peu la première question : serait-il possible de vivre sans aujourd'hui ?
244	Une voix (*je ne sais pas qui*)	Donc en gros, elle sert à rien. *(il y a des rires)*
245	Corentin (ex-ANM)	En même temps, c'est vrai que la réponse là, c'est que... la réponse c'est qu'elles sont pas utiles à l'Homme. Enfin, à première vue, elles sont... Non on a voulu trouver une question, on a été pris par le temps et...

Interrogés par leur enseignante de sciences physiques, les élèves qui ont formulé cette question sur l'utilité des nanotechnologies battent en retraite. Ils affirment avoir été pris par le temps au moment de la formuler. L'un d'entre eux déclare aussi qu'il avait déjà une idée de la réponse à apporter : à la question "les nanotechnologies sont-elles vraiment utiles à l'homme ?", il aurait personnellement répondu négativement.

Étant donné cette réponse, on peut supposer que cet élève ne se reconnaissait pas forcément dans les discours tenus lors de Nano@school. Le choix de formulation que lui et son groupe proposaient, pourrait donc aussi être interprété comme un choix de tournure diplomate visant à amener le scientifique à ouvrir un débat dans lequel ils avaient déjà une prise de position construite, sans agresser leur interlocuteur.

Enfin, outre ces questions générales, l'un des groupes a questionné l'utilité des nanotechnologies en se focalisant sur les applications pour limiter la pollution.

> *"Comment les nanotechnologies peuvent-elles limiter la pollution ?"*
> *(Question formulée par le groupe qui a étudié le cahier de l'Association Française Transhumaniste et travaillé sur les questions sanitaires et environnementales soulevées par les utilisations des nanoparticules)*

Les élèves partent donc d'un problème qui les préoccupent : la protection de l'environnement et souhaitent questionner le scientifique sur la manière dont les nanotechnologies dans leur globalité pourront participer à le résoudre.

9.5 Discussion

Finalement, les élèves ont posé ici des questions qui forcent encore le trait sur certaines dimensions des débats qui ont déjà été mises en avant dans les tableaux remplis par les élèves à savoir : "les risques" et notamment les questions sanitaires et la protection des libertés, et l'utilité des nanotechnologies.

Les élèves semblent attendre que l'expert scientifique qui va venir au lycée apporte des éléments de réponse à une interrogation qui parcourt les échanges entre élèves aux cours des différentes activités : "qu'est-ce que les nanotechnologies vont apporter".

Ils ont ainsi proposé des questions sur ce qui les préoccupent eux, sans, nous semble-t-il, interroger la manière dont "l'expert" pourrait leur répondre compte tenu de son domaine d'expertise particulier. Ces questions posées par les élèves nous interrogent donc sur leur manière d'appréhender les façons dont sont conduites l'activité scientifique. On aurait pu penser que venir à Nano@school aurait pu permettre d'incarner ces pratiques. Cependant les enseignants chercheurs qui encadrent ce dispositif ne se présentent pas dans ces ateliers en tant que chercheurs discutant de leur objet de recherche. Ils mettent en scène certaines idées importantes pour comprendre la physique aux petites échelles ; ils mettent les élèves en activité ; mais ils ne donnent pas à voir leur activité scientifique. Les élèves interrogent donc l'expert qu'ils ont vu à Nano@school sur les nanotechnologies en général et non sur son domaine d'expertise bien spécifique.

Enfin, le passage en revue des questions proposées par les élèves montre aussi que les élèves remettent en cause certains discours qui leur ont été proposés lors de Nano@school. La présentation qu'ils ont eu des nanotechnologies lors de ses ateliers n'est visiblement pas entrée en résonance avec les questionnements qu'avaient suscités chez eux les autres activités de la séquence. Par conséquent, les élèves réagissent. Au travers de leurs interrogations, ils semblent vouloir ouvrir le débat avec le scientifique sur les questionnements qui les préoccupent et que Nano@school a passé sous silence. Ces amorces de débat sont pour certaines formulées de manière diplomate. D'autres sont bien plus incisives. Ces formulations mordantes peuvent d'ailleurs être confrontées avec ce qu'écrivaient les élèves d'un autre groupe au cours de la recherche documentaire :

> *"Les nanos doivent être gérees démocratiquemt*
> *car = si on laisse gérer les scientifiques, les citoyens risquent d'être surpris."*

Finalement, ces questions rédigées par les élèves lors de cette dernière séance montrent qu'ils ont été capables de prendre de la distance par rapport aux discours portés sur les nanotechnologies lors des ateliers Nano@school. Ils semblent de plus s'être forgés une première opinion sur ces développements scientifiques et techniques et paraissent être enclins à ouvrir la discussion avec le scientifique, aussi bien pour confronter leur point de vue au sien que pour obtenir un autre éclairage sur leurs interrogations.

Interventions des élèves de la classe devant les premières S du lycée trois mois plus tard

Enfin, puisque nous travaillons dans une perspective *design-based*, nous voudrions refermer ce chapitre en relatant brièvement la manière dont ont été organisées les interventions des élèves et du chercheur. Nous proposerons par ailleurs, un peu plus loin, une discussion de cette étape ultime de notre dispositif qui a conduit les élèves à mettre en scène certains questionnements qui ont émergé de la séquence pédagogique.

Préparation des interventions

Au moment de préparer la conférence, nous avons proposé aux élèves, en accord avec le conférencier et l'enseignante, de poser leurs questions tout en les mettant en perspective avec le contenu du cahier d'acteurs de la classe. La "conférence" a ainsi été conçue comme une sorte de dialogue entre les élèves et le physicien, les élèves présentant certaines parties de ce document, posant leurs questions et le conférencier "rebondissant" sur les propos des élèves pour les discuter. Toutefois, étant donné que la conférence ne durait qu'une heure, nous avons été obligés de restreindre le nombre de questions. Les élèves ont donc seulement posé leurs trois premières questions en suivant l'ordre de priorité qui avait été défini collectivement (voir annexe 15).

Lors d'une séance d'une heure organisée la semaine précédant la conférence pour préparer leurs interventions, les élèves ont été répartis en 4 groupes.

L'un avait pour mission de préparer l'intervention servant à introduire la conférence. Ces élèves devaient présenter rapidement les activités auxquelles la classe avait participées et présenter globalement les thématiques développées dans le cahier d'acteurs de la classe.

Quant aux trois autres groupes, ils devaient s'occuper chacun, de mettre au point une présentation des parties du cahier d'acteurs en lien avec une des questions à poser.

Pour épauler les élèves dans leur préparation, nous leur avons fourni des diapositives que nous avions préparées et qui reprenaient le contenu du cahier d'acteurs. Les élèves pouvaient, s'ils le voulaient, modifier ce diaporama, qui a ensuite été projeté le jour de la conférence au moment où les élèves intervenaient. Le contenu de ce diaporama est présenté en annexe de ce manuscrit (annexe16).

Chaque groupe a aussi choisi un ou deux représentants qui ont joué le rôle de porte-parole le jour de la "conférence". Ce sont les élèves qui se sont entendus, au sein de chaque groupe, pour choisir ces porte-paroles. Le jour de la "conférence"[10], ces représentants de la classe étaient installés devant l'assemblée, aux côtés du physicien. Dans la salle étaient présents les élèves de quatre classes de premières S avec certains de leurs enseignants. Le proviseur est seulement venu saluer le conférencier mais ni lui, ni la proviseure adjointe ne sont restés assister aux échanges entre les élèves et le physicien.

Déroulement de la "conférence"

Les interventions des élèves se sont déroulées sans encombres mais il n'y a pas eu de vrai dialogue entre le physicien et les élèves, au sens où une fois que les élèves avaient posé leur question, ils ne relançaient pas le scientifique.

Après que la première porte-parole se soit exprimée, le "conférencier" a présenté la physique à Grenoble. Il a parlé de l'industrie de la microélectronique, évoqué la nécessité des salles blanches pour ces activités, les emplois que représentaient le secteur dans l'agglomération grenobloise...

Suite à la question sur les risques sanitaires et environnementaux (qui n'a pas été posée sous la même forme que ce que les élèves avaient écrit lors de la séance de préparation de question. Les porte paroles de la classe n'ont pas interpelé le scientifique en l'apostrophant sur le contenu de Nano@school), le conférencier a acquiescé aux propos des élèves. Il a parlé des nanoparticules d'argent, de leurs effets toxicologiques, du fait que l'on en trouvait dans les frigo, des problèmes de choix de consommation...

Après la question sur la protection des libertés, le physicien a de nouveau abondé dans le sens des élèves. Il a discuté du fait qu'actuellement on était capable d'acquérir de très grosses quantités de données et surtout de les traiter très vite et sans erreur. De nouveau, il a discuté des choix de favoriser ou non certains usages. Il a de plus mis en perspective son discours avec certains le fonctionnement de certains objets technologiques tels les MEMS qu'ont trouvent dans les airbags ou les smart-phones, les GPS...

Enfin, la dernière question portait sur l'utilité des nanotechnologies. Suite à l'intervention des élèves, le scientifique est revenu sur l'existence des retombées économiques qu'ils venaient d'évoquer. Il a aussi discuté du fait que le développement de ces technologies relevait d'un choix de société et que les élèves étaient concernés par toutes ces questions posées par les nanotechnologies, au même titre que lui et que n'importe quel autre citoyen.

La conférence s'est arrêtée ici. À chaque fois, il n'y a pas eu de temps pour les questions de la salle. Une fois que la cloche a sonné, les élèves devaient en effet retourner en cours.

10. Ou plutôt des conférences. Comme la salle était trop petite pour que les élèves de toutes les premières y tiennent réunis, deux conférences ont été organisées : l'une de 11H à 12H. L'autre de 13H à 14H.

Troisième partie

Discussion

Chapitre 10

Discussion générale

L'exposé de nos résultats obtenus au travers de notre recherche empirique est maintenant achevé. Nous allons à présent discuter ces résultats.

10.1 Principaux résultats

Dans cette recherche, nous nous sommes intéressés à la façon dont l'école pouvait contribuer à outiller les citoyens à s'emparer des enjeux technoscientifiques actuels au travers du cas des nanotechnologies.

Dans la mesure où nous visions à la fois à élaborer des savoirs pour la recherche en éducation aux sciences, mais aussi à construire des situations pédagogiques adaptées aux réalités du monde scolaire, nous avons ancré notre travail dans la lignée des recherches *design-based* (The Design-Based Research Collective, 2003).

De plus, comme les enjeux des développements des nanotechnologies mêlent des aspects scientifiques et technologiques aux dimensions sociales, politiques, économiques et éthiques, nous avons considéré les nanotechnologies comme une question socioscientifique. Ceci nous a conduits à nous appuyer sur le modèle de scolarisation des controverses socioscientifiques proposé par Albe (2007).

La problématique qui a guidé notre recherche empirique s'articule autour de deux questions :

> Comment des élèves de lycée comprennent-ils les controverses soulevées par les nanotechnologies ?
>
> Et dans quelle mesure sont-ils capables de considérer de manière critique les différents discours portés par différents acteurs de la controverse sur ces développements ?

Les éléments de réponse que nous avons élaborés à ces deux questions s'appuient sur la mise en œuvre d'une séquence pédagogique dont la construction a été éclairée par une analyse des controverses soulevées par les nanotechnologies [1]. Cette séquence s'articule autour d'un jeu de rôle qui met dans les mains des élèves des "cahiers d'acteurs" produits pour le débat public de la CNDP de 2009.

Ce jeu de rôle est suivi d'une séance de recherches documentaires où les élèves explorent les différentes dimensions de la controverse que nous avons identifiées dans notre analyse préliminaire des controverses.

Puis, après s'être préalablement rendus à Grenoble, l'un des principaux pôles de développement des nanotechnologies en Europe pour y participer à des ateliers pendant une journée sur les tailles et les échelles, les microscopies, la microélectronique..., une séance de synthèse

1. Cette analyse des controverses élaborée à partir des "cahiers d'acteurs" du débat public de la CNDP organisé à l'hiver 2009-2010 est présentée au chapitre 4.

a été organisée au lycée permettant aux élèves de finaliser un “cahier d’acteurs” de la classe, à la manière de ceux produits pour le débat de la CNDP. Cette ultime séance a aussi été l’occasion de formuler des questions à poser à un physicien invité au lycée pour parler de nanotechnologies avec les élèves.

10.1.1 Comment des élèves de lycée comprennent-ils les controverses soulevées par les nanotechnologies ?

Chacune des activités mises en œuvre a contribué à documenter la question : Comment des élèves de lycée comprennent-ils les controverses soulevées par les nanotechnologies ?

En opérationnalisant le modèle de scolarisation des controverses d’Albe (2007), nous avons d’abord analysé les savoirs que les élèves avaient tirés des cahiers d’acteurs en préparation du jeu de rôle puis mobilisés par oral, lors du jeu de rôle proprement dit [2].

Cette analyse a montré que les élèves avaient discuté plusieurs questions relatives à la toxicité possible pour l’homme et l’environnement des nanoparticules et à la manière de gérer cette situation d’incertitude. Il semble ainsi qu’au cours de cette activité de jeu de rôle, les élèves ont cerné les questionnements liés aux problèmes sanitaires et environnementaux des développements des nanotechnologies, même s’ils n’ont pas forcément restitué à l’oral l’intégralité des éléments qu’ils avaient notés en préparation du jeu de rôle ou s’ils les ont restitués imprécisément ou de manière générale.

Concernant l’utilisation des nanotechnologies pour intervenir sur le vivant, l’analyse du jeu de rôle a mis en évidence que les élèves avaient bien repéré tout ce qui a trait aux perspectives d’utilisations des nanotechnologies en médecine. En ce qui concerne les questionnements liés aux utilisations des nanotechnologies pour intervenir sur le vivant, l’élève représentant l’Association Française Transhumaniste a répercuté les positionnements de cette association sur les améliorations de l’humain bien qu’elle ait parfois eu tendance à insister sur des aspects plutôt mineurs de son cahier d’acteurs. D’autres élèves ont aussi utilisé des termes présents dans le document qu’ils avaient étudié en préparation sans toutefois les expliciter (ex : artificialisation du vivant).

Les interrogations entourant les menaces pour les libertés ont aussi été discutées au travers du jeu de rôle. Ces questions relatives à la mise en danger des libertés et à la régulation de certains usages des nanopuces ont été essentiellement portées par l’élève représentant la CNIL. Deux autres élèves ont aussi abordé ces interrogations mais l’analyse de leurs prises de parole sur cette thématique ne permet pas d’affirmer qu’elles aient bien compris le contenu de leur cahier sur ce thème.

Par ailleurs, les interventions pouvant se rapporter au volet de discussion sur les rapports entre développements technoscientifiques et démocratie ont été de trois types. Certaines concernaient la demande de mise en place d’une régulation des développements des nanotechnologies. D’autres étaient relatives aux questions d’information des citoyens. D’autres enfin portaient sur la mise en débat des orientations scientifiques et technologiques relatives au nanotechnologies.

Finalement, lors du jeu de rôle, les enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies ont été discutés essentiellement par le biais des discours présentant certaines perspectives économiques et la promesse d’applications affichées comme socialement utiles. En revanche, les questionnements remettant en cause le modèle économique et social sous-tendant le développement des nanotechnologies ont eu du mal à émerger dans les échanges.

Le jeu de rôle a ensuite été suivi par une discussion en classe entière. L’analyse du contenu des prises de parole des élèves [3], a mis en évidence que lors de ce premier contact avec les ques-

2. Cette analyse des savoirs est détaillée au chapitre 6.
3. Cette analyse est développée dans le chapitre 7.2.

tionnements soulevés par les nanotechnologies, les interrogations auxquelles les élèves se sont montrés les plus sensibles étaient celles touchant aux réalisations issues des nanotechnologies et aux effets qu'elles pouvaient avoir. Ils se sont ainsi saisis plus volontiers des questionnements liés aux productions des nanotechnologies (problèmes sanitaires et environnementaux causés par l'utilisation de nanoparticules et des nanomatériaux, utilisation des nanotechnologies pour intervenir sur le vivant et problèmes de protection des libertés) que des interrogations portant sur la manière dont le programme de développement des nanotechnologies est développé en société.

Les interventions des élèves dans cette discussion montrent qu'ils sont largement d'accord entre eux pour reconnaître l'importance des questions sanitaires et environnementales, tout en restant très généraux lorsqu'ils discutaient de ces aspects. Les questions des libertés ont aussi retenu l'attention des élèves tout en n'étant vraiment discutées que par l'un des élèves ayant étudié le cahier de la CNIL. Par ailleurs, la discussion des possibles améliorations de l'humain a fait apparaître des divergences de point de vue entre élèves.

Enfin, l'analyse du contenu des interventions des élèves a parfois donné l'impression que les élèves discutaient des enjeux et des problèmes des développements des nanotechnologies en opposant bénéfices et risques.

Suite à cette analyse de la séance de jeu de rôle, nous avons caractérisé l'aperçu de la controverse construit par la classe lors de l'activité de recherche documentaire.

En référence au modèle de scolarisation des controverses d'Albe (2007), nous avons examiné les sources choisies par les élèves [4]. Nous avons mis en évidence qu'ils avaient sélectionné des discours et des prises de positions sur les développements des nanotechnologies portés par des acteurs assez divers (Institutions de recherches, associations s'intéressant à l'appropriation citoyenne des choix scientifiques et technologiques, ministère des finances, de l'économie et de l'industrie, commission européenne, sites Internet mettant en avant leur intérêt pour les questions environnementales et pour le "développement durable", CNIL ...). Cette confrontation s'est parfois faite indirectement au travers de média d'information ou de Wikipédia.

Outre cette étude des sources choisies par les élèves, l'analyse du contenu des présentations orales qui ont suivi les recherches documentaires a permis de caractériser la manière dont les élèves s'étaient emparés des différentes dimensions de la controverse. L'importance qu'ils accordaient aux questions sanitaires et environnementales s'est ainsi confirmée au cours de cette seconde activité.

En outre, si lors de la discussion post-jeu de rôle, les projets d'amélioration de l'humain avaient tenu une place importante dans les échanges, les élèves travaillant sur les développements des nanotechnologies pour intervenir sur l'humain lors des recherches documentaires se sont essentiellement focalisés sur les applications des nanotechnologies dans le domaine de la médecine. Les projets d'améliorations des performances humaines n'ont donc été abordés que du bout des lèvres par les élèves lors de cette deuxième séance.

Les problèmes de menaces pour les libertés semblent par contre avoir gagné en importance dans les propos des élèves par rapport à la séance du jeu de rôle. Ainsi, plusieurs groupes d'élèves ont prêté attention aux questions de protection des libertés et de la vie privée au moment de formuler leur avis.

Les élèves traitant des rapports entre développements technoscientifiques et démocratie ont eux insisté sur l'importance de l'information et de la participation des citoyens. La discussion sur la manière de rendre effective cette participation est toutefois restée assez succincte.

Concernant les enjeux économiques et sociaux des nanotechnologies, les élèves qui ont travaillé sur ce thème ont utilisé des documents fortement marqués par des discours institutionnels. Par ailleurs, pour répondre à la question portant sur les interrogations soulevées par les nanotechnologies en matière économique et sociale, ils ont présenté un inventaire d'objets

4. Cette analyse est détaillée au paragraphe 8.1.

de débats (sur l'éthique, sur la gestion des risques industriels, sur l'application du principe de précaution, sur la vie privée...). L'aperçu donné sur cette dimension de la controverse est donc resté assez vague.

Enfin, comme dans la discussion post-jeu de rôle, nous avons noté que dans leurs présentations, les élèves formulaient souvent leur avis de façon générale en opposant des "bénéfices" des nanotechnologies à "leurs risques à prendre en compte".

Finalement, pour rendre compte de la manière dont les élèves s'emparaient des différentes dimensions des controverses soulevées par les nanotechnologies, nous avons de nouveau utilisé la dimension épistémologique du modèle développé par Albe (2007). Nous avons pour cela analysé leurs productions écrites réalisées lors de la dernière activité tout en les croisant avec le contenu de leurs interventions orales lors de cette séance [5].

Cette analyse nous a permis de montrer que les élèves se sentaient interpellés par les questions sanitaires et environnementales soulevées par les nanotechnologies et par les questions de protection des libertés. Ils accordaient aussi de l'importance aux avancées que laissent augurer le développement des nanotechnologies d'une manière générale en faisant référence au "progrès" mais aussi en mentionnant des exemples (retombées pour la médecine, l'environnement et l'économie). Enfin, un peu plus de la moitié de la classe est revenue sur les problèmes posés par le développement des nanotechnologies dans une démocratie, la plupart sous l'angle du problème de l'information des citoyens.

10.1.2 Dans quelle mesure les élèves sont-ils capables de considérer de manière critique les différents discours portés par différents acteurs de la controverse ?

Chacune des activités proposées en classe a aussi été l'occasion de recueillir des données permettant de jauger la prise de distance des élèves par rapport aux différents discours qu'ils rencontraient.

Ainsi, l'analyse de l'argumentation des élèves déployée lors de la séance du jeu de rôle, réalisée selon une approche pragma-dialectique de l'argumentation (van Eemeren et Grootendorst, 1996, 2004) a permis de montrer que les échanges n'avaient que très rarement donné lieu à des argumentations fallacieuses. La rareté des "fallacies" dans le discours des élèves aussi bien lors du jeu de rôle que lors de la discussion en classe entière qui a suivi, témoigne, selon nous, de l'instauration de conditions propices à la discussion critique. Les élèves se sont ainsi engagés dans une discussion pouvant permettre une prise de distance par rapport aux prises de position évoquées et aux arguments échangés dans les débats.

La recherche documentaire était également destinée à permettre aux élèves de choisir des sources documentaires de façon critique et réfléchie. L'analyse des fiches guidant leur évaluation de ces sources ne nous a cependant pas vraiment permis d'apprécier la prise de distance critique des élèves par rapport aux documents qu'ils avaient retenus. Les élèves ont en effet la plupart du temps rempli cette fiche sans discuter la fiabilité des sources sélectionnées.

Outre cet examen des fiches d'évaluation des sources par les élèves, la confrontation entre les discours des élèves et le contenu des documents nous a permis de mettre en évidence l'existence d'une tension entre deux postures, l'une consistant à s'acquitter de la tâche imposée et l'autre à considérer de manière critique différents discours portés par différents acteurs. Ainsi par exemple, nous avons relevé par deux fois que, pour répondre aux questions guidant leurs recherches, des élèves avaient mis en avant des éléments qui ne figuraient pas dans leurs documents. En termes de mise à distance des discours, ce résultat nous semble indiquer que ces élèves ont en quelque sorte détaché le contenu d'un discours de son auteur, quitte à l'attribuer

5. Cette analyse est présentée au chapitre 9.

à une autre organisation. De plus, nous avons montré que quelques élèves avaient recopié le contenu des documents qu'ils avaient sélectionnés sans en maîtriser le sens. Ces éléments nous semblent être des obstacles à la prise de distance des discours rencontrés.

Enfin, lors de la dernière séance mise en place en classe, nous avons documenté la prise de distance des élèves en analysant les questions préparées par les élèves pour les poser au physicien devant venir au lycée pour parler de nanotechnologies avec l'ensemble des premières S de l'établissement. Le contenu de ces questions montre que les élèves ont été capables de prendre de la distance par rapport aux discours portés sur les nanotechnologies lors des ateliers Nano@school. Ils estiment pour certains que la présentation des nanotechnologies qui leur a été proposée au travers de ces ateliers ne leur montrait que les "avantages" des nanotechnologies en occultant les interrogations que posent leur développement. Ils questionnent alors le scientifique sur "les risques", sur les questions des libertés, mais aussi sur l'utilité des nanotechnologies. Leurs interrogations portent ainsi sur des thèmes qu'ils ont déjà travaillés, comme s'ils voulaient croiser ce qu'ils avaient étudié en classe avec les propos du scientifique. Les formulations de leurs interrogations peuvent être par ailleurs qualifiées d'incisives. Elles nous laissent entendre qu'ils veulent ouvrir le débat avec le scientifique sur les questionnements qui les préoccupent et qui n'ont pas été abordés lors de leur participation aux ateliers à Grenoble.

10.1.3 Confrontation de ces résultats avec notre analyse des controverses

Si l'on confronte ces résultats avec notre analyse des controverses, plusieurs éléments peuvent être soulignés.

Pour ce qui concerne l'identification des acteurs, nous disposons de peu d'indices permettant de dire que les élèves seraient capables de clairement situer qui sont les principaux acteurs ou du moins quelles sont les principales catégories d'acteurs prenant part à la controverse.

Dans la recherche documentaire, nous avons même mis en évidence que certains élèves semblaient guidés par l'objectif de répondre aux questions qui leur étaient posées plutôt que par l'idée de confronter les sources. Cette possible absence d'une identification claire des acteurs prenant part à la controverse nous semble être un frein à la prise de distance mais aussi à la compréhension fine de la controverse.

En ce qui concerne les thématiques discutées par les élèves, si l'on compare leur compréhension collective de la controverse telle qu'analysée avec nos outils avec le contenu de notre analyse des controverses, on s'aperçoit que les thèmes abordés par les élèves ont été variés, mais que le niveau de discussion est souvent resté assez général.

Par exemple, pour ce qui concerne les questions d'ordre sanitaire et environnemental soulevées par l'utilisation de nanoparticules et des nanomatériaux, un consensus nous semble avoir émergé sur l'importance de ces problèmes et sur la nécessité de "prendre en compte les risques". Toutefois, beaucoup d'élèves n'entrent pas dans le détail. Hormis dans le jeu de rôle où ils citent les exemples qu'ils ont entre les mains, ils n'entrent pas dans une discussion sur la dangerosité des nanoparticules, sur la difficulté à estimer leur toxicité et ils ne reprennent pas les questions de mesure des expositions, de traitement des déchets "nanos"..., thématiques que nous avions repérées dans notre analyse des controverses. Par ailleurs, nous avons aussi relevé que les questions politiques posées par les substances nano ont été principalement discutées par les élèves sous l'angle d'une injonction à "tenir compte des risques", sans approfondir les demandes de réglementation citées dans le jeu de rôle et dans la recherche documentaire. Par conséquent, en l'absence de revendications plus précises (hormis de la part d'une petite minorité d'élèves qui se déclare en faveur d'un moratoire), l'examen de la question reste large et la variété des prises de position des acteurs que nous avions identifiée dans notre analyse

des controverses s'estompe pour donner l'impression d'un consensus entre les élèves autour de l'importance de gérer les risques.

Ce niveau de généralité de la discussion se retrouve aussi pour les autres dimensions de questionnement que nous avions identifiées dans notre analyse des controverses. Pour ce qui concerne les questions de protection des libertés, cette thématique a gagné en importance aux yeux des élèves au fur et à mesure des activités, jusqu'à ce qu'un consensus émerge sur la nécessité de tenir compte de ces problèmes. Comme pour les questionnements sanitaires et environnementaux, les élèves ne discutent pas des modalités d'action pour prendre en charge ces questionnements. Ils demeurent de plus assez généraux lorsqu'ils discutent des menaces pour la vie privée.

Par ailleurs, tout au long des activités, les élèves ont manifesté leur intérêt pour les perspectives d'applications des nanotechnologies. Ils sont alors pour la plupart restés généraux en considérant globalement les innovations promises dans le domaine de la santé comme "bénéfiques" sans les discuter en détail au travers des questions : Quelles sont-elles ? Qu'apportent-elles ? Que coûtent-elles ? Quelles questions soulèvent-elles ? dont traitaient certains acteurs (par exemple le CENG, l'Académie de Médecine) dans notre analyse des controverses. Dans cette analyse, nous avions aussi relevé que plusieurs acteurs (comme par exemple PMO, Vivagora, l'Association Française Transhumaniste) pointaient l'importance de discuter du développement de nano-implants dans le cadre de projets d'amélioration des performances humaines. Ici, les élèves ont discuté de ces projets d'amélioration de l'humain lors de la première séance, faisant apparaître une divergence d'ordre axiologique entre les élèves, certains défendant des valeurs de justice sociale, d'autres mettant en avant le progrès. Toutefois, par la suite, ce thème disparaît pratiquement complètement des discussions.

Notre analyse des controverse avait également fait apparaître que certains acteurs ne discutaient pas seulement des productions des nanotechnologies et de la manière d'en réguler les effets. Ils revenaient sur la manière dont le programme de développement des "nanos" était mis en œuvre en société, éventuellement pour le contester. Ainsi, dans notre analyse des controverses, nous avions noté que plusieurs acteurs (par exemple la Fondation Sciences Citoyennes, Vivagora, le CENG...) critiquaient l'absence de mise en débat des orientations scientifiques et technologiques en France. Des critiques étaient aussi adressées aux débats déjà organisés sur les nanotechnologies se multipliant sans influer sur les orientations politiques. Hormis dans le jeu de rôle proprement dit, ces critiques n'ont pas vraiment été reprises ni discutées dans le détail par les élèves. Ceux-ci abordent bien l'importance d'impliquer les citoyens dans le développement des nanotechnologies mais la plupart du temps sous l'angle de leur information, et plus rarement en déclarant qu'il faudrait "leur demander leur avis".

Enfin dans notre analyse des controverses, nous avions aussi mis en évidence que plusieurs acteurs discutaient des enjeux économiques et sociaux du développement des nanotechnologies, et que leurs positionnements pouvaient être schématiquement répartis autour de deux pôles. D'un côté de nombreux acteurs (essentiellement les industriels et entreprises, les syndicats et associations de consommateurs, les sociétés savantes, les organismes de recherches et les assemblées consultatives) estimaient que les nanotechnologies vont contribuer à remédier aux problèmes de nos sociétés et qu'elles sont une occasion à ne pas rater pour créer des emplois et développer la compétitivité de la France. Certains de ces acteurs (par exemple le LEEM, le Medef, la CFE-CGC) proposaient alors des pistes pour ne pas rester en retrait dans cette course à l'innovation. De l'autre, d'autres acteurs (au rang desquels les Verts, le collectif français membre du Forum Mondial Sciences et Démocratie, la Fondation Sciences Citoyennes et les Amis de la Terre) critiquaient le modèle économique et social sur lequel reposent ces développements. Certains (les Verts, les Amis de la Terre) évoquaient une idéologie scientiste et productiviste à laquelle ils s'opposaient. Enfin, la course aux brevets déposés sur la matière inerte et le vivant, ainsi que le climat de compétition économique et scientifique étaient remis en cause.

Cette dernière dimension sur le modèle économique et social sous-tendant les nanotechnologies, a été discutée par les élèves pratiquement exclusivement sous l'angle de ce "que les nanotechnologies vont apporter". Au vu de certaines interventions des élèves lors de la séance de jeu de rôle (où des élèves déclarent ne pas savoir définir l'expression "propriété intellectuelle"), ou lors de la recherche documentaire (où les élèves inventorient en vrac une liste de thèmes de débats pour répondre à la question sur les interrogations soulevées en matière économique et sociale par les développements des nanotechnologies), on peut s'interroger sur les possibles facteurs limitant la prise en charge par les élèves de ces questionnements. Est-ce en partie dû à un déficit d'outillage ? À une réticence à prendre en charge ces interrogations politiques ? Est-ce dû à d'autres éléments ?

Finalement, cet éclairage de notre analyse des controverses sur nos résultats empiriques obtenus dans le cadre d'une séquence pédagogique développée suivant les principes des recherches *design-based,* montre que les élèves ont cerné l'existence des différentes dimensions de questionnement que nous avions identifiées dans notre analyse. La discussion par les élèves de ces différentes thématiques les a conduits toutefois à rester à un assez grand niveau de généralité. Par ailleurs, il n'est pas sûr qu'ils situent les discours qu'ils rencontrent en les associant aux acteurs qui les portent.

Ce niveau de généralité, doublé de ce possible découplage entre un discours et les acteurs qui l'énoncent nous semble à rapprocher de l'adoption d'un point de vue assez consensuel chez les élèves qui "ferait la part des choses" en estimant que "les nanotechnologies présentent des risques mais qu'elles promettent des retombées bénéfiques".

10.1.4 Apports et limites des cadres d'analyse mis en œuvre

Ces résultats empiriques obtenus au travers de l'analyse des données récoltées lors de la dernière mise en œuvre de la séquence pédagogique nous renseignent sur la compréhension des élèves de la controverse et sur leur mise à distance des discours qu'ils ont rencontrés. Les outils d'analyse que nous avons empruntés, adaptés, ou développés spécifiquement pour cette recherche se sont donc avérés pertinents pour dégager des éléments de réponse à notre problématique. Cependant, on peut tout de même s'interroger : certains éléments ont-ils été laissés dans l'ombre du fait de nos choix méthodologiques et analytiques ?

Pour analyser la compréhension de la controverse des élèves lors de l'activité de jeu de rôle, nous avons repéré les savoirs qu'ils avaient mobilisés. Pour cela, nous avons mis en regard trois choses : le contenu des documents distribués, le contenu des fiches remplies par les élèves et l'analyse du contenu de leurs prises de parole. Ceci nous a permis d'identifier les éléments dont les élèves s'emparaient dans les cahiers d'acteurs distribués. Cette méthode d'analyse nous semble nous avoir permis de caractériser finement la façon dont ils avaient compris ces documents directement issus de l'espace social. Deux limites au moins nous semblent toutefois à souligner.

En procédant de la sorte, nous avons pu analyser la compréhension des élèves portant uniquement sur le cahier d'acteurs qu'ils étudiaient en préparation du jeu de rôle. La caractérisation de la manière dont chaque élève a par la suite appréhendé individuellement, lors du jeu de rôle, les discours des autres acteurs, nous a donc échappée.

Par ailleurs, le choix de nous focaliser sur les savoirs mobilisés par les élèves dans leurs productions écrites ou à l'oral lors du jeu de rôle, a eu pour conséquence que nous n'avons pas analysé le processus d'extraction d'information, de clarification voire de négociation du sens des discours étudiés par les élèves en petits groupes, lors de la préparation du jeu de rôle. Ceci aurait peut-être pu nous permettre de raffiner notre compréhension de la manière dont les élèves percevaient et appréhendaient le contenu du cahier d'acteurs qu'ils analysaient. En utilisant les enregistrements audio des conversations d'élèves en petits groupes réalisés

lors de la préparation du jeu de rôle, nous aurions pu enrichir notre caractérisation de la compréhension par les élèves des différentes dimensions de la controverse. L'analyse de ces enregistrements aurait, de plus, peut-être pu compléter notre appréciation de leur prise de distance par rapport au contenu du cahier d'acteurs qu'ils étudiaient. Nous ne l'avons pas fait pour des raisons de temps et des raisons pratiques : l'exploitation de ces enregistrements où le bruit de fond était important était très délicate.

Pour analyser la prise de distance lors de l'activité de jeu de rôle, nous avons eu essentiellement recours à l'analyse de l'argumentation des élèves. Nous nous sommes attachés à identifier les sophismes et les paralogismes dans leur discours. Là, l'utilisation du cadre de la pragma-dialectique s'est avéré fructueuse et appropriée à notre contexte. Toutefois, le processus d'analyse de l'argumentation mené suivant cette approche est long et l'identification des paralogismes est toujours quelque chose de délicat et de discutable.

On peut aussi noter que cette approche d'identification des *fallacies* pour mesurer la prise de distance des élèves est une approche "en creux", dans le sens où dès lors que nous identifions la présence d'argumentations fallacieuses, nous en déduisons que c'est un indicateur d'*absence* de prise de distance critique collective des élèves de la classe. On pourrait donc objecter à notre méthode que l'absence d'argumentations fallacieuses ne garantit en rien une prise de distance des élèves par rapport aux discours rencontrés. En effet, pour que se développe une véritable discussion critique, encore faut-il qu'il y ait discussion et non que les échanges ne se résument à une juxtaposition de répliques déconnectées les unes des autres.

Une autre limite de cette étude de la distance critique au travers des *fallacies* est que nous ne mesurons la prise de distance que des seuls élèves qui s'expriment à l'oral, en classe entière. Il se peut que certains ne prennent pas part au débat mais qu'en leur for intérieur, ils se montrent critiques vis-à-vis des positions et des arguments exprimés. L'utilisation d'entretiens individuels aurait ici peut-être permis d'affiner cette évaluation de la mise à distance critique des élèves en les amenant à réagir sur le contenu des discussions en classe.

L'analyse de la prise de distance des élèves par rapport aux discours qu'ils rencontraient a également été délicate pour l'activité de recherches documentaires. Ici, nous nous sommes essentiellement appuyés sur les fiches d'évaluation des sources qu'avaient remplies les élèves lors de leurs travaux sur Internet. Une fois encore, nous n'avons fondé notre analyse que sur les traces écrites qui demeuraient au terme de l'activité. Une manière de procéder pour obtenir davantage d'informations à la fois

- sur la mise à distance du contenu des documents que les élèves rencontraient sur le net,
- sur leur appréciation de la fiabilité des sources qu'ils consultaient,
- ou encore sur leur connaissance des acteurs dont ils étudiaient les discours,

aurait pu consister à analyser les discussions en petits groupes, enregistrées lors des recherches des élèves sur ordinateur.

Nous ne l'avons pas fait, à la fois parce que l'exploitation de ces enregistrements prend beaucoup de temps, mais aussi et surtout, parce que cette exploitation aurait été très délicate d'une part parce que l'enregistrement audio ne nous permettait pas de voir les sites que les élèves consultaient, et d'autre part parce que ces enregistrements étaient d'une piètre qualité sonore.

Finalement, un dernier point mérite d'être souligné. Dans toutes nos analyses, nous n'avons pas mesuré l'appréhension individuelle de la controverse par les élèves. Nous n'avons évalué la compréhension de la controverse par les lycéens, que globalement, au travers de l'aperçu de la controverse donné collectivement, par la classe entière. Ceci est lié ici à notre choix de travailler sur une situation de classe dans un cadre authentique comme le préconisent les recherches *design-based*. Ce choix nous a en effet amenés, d'une part, à tirer parti du groupe-

classe pour embrasser en un temps raisonnable les différentes dimensions de la controverse. La totalité des productions d'un élève pris individuellement, a donc des chances de ne pas creuser toutes les facettes de la controverse. D'autre part, ce choix nous a conduits à ne pas effectuer de recueils de données supplémentaires qui se seraient sur-ajoutés aux séances en classe.

À ce propos, nous voudrions revenir sur la conception de cette séquence pédagogique produite mais aussi plus largement sur l'intérêt et sur les difficultés de l'approche des recherches *design-based*.

10.2 Retour sur la séquence pédagogique élaborée dans cette recherche et sur le choix de travailler suivant une perspective *design-based*

10.2.1 Dans quelle mesure notre séquence pédagogique permet de répondre aux enjeux éducatifs de notre recherche ?

En ancrant notre travail dans le mouvement des recherches *design-based*, nous avons assigné à notre recherche une vocation interventionniste. L'enjeu que nous avions choisi pour notre recherche était le suivant :

> Comment est-il possible de construire et de mettre en œuvre une séquence pédagogique dans un cadre scolaire, qui munisse les élèves d'outils intellectuels pour s'emparer des questions soulevées par les développements des nanosciences et des nanotechnologies ?

Deux éléments de réponse que nous avons apportés à cette question nous semblent à mentionner.

D'abord, nous avons choisi de prendre la controverse telle quelle existait en société pour l'étudier à l'école. Au travers de notre séquence pédagogique, nous n'avons pas opéré de reconstruction des arguments des acteurs de la controverse. Nous avons étudié au préalable la controverse ; puis, nous avons repris les nanosciences et les nanotechnologies, telles qu'elles existaient en société au travers d'une multiplicité de discours, pour les introduire en classe. Nous avons ainsi fait étudier aux élèves une variété de discours sur les nanotechnologies directement issus de l'espace social, sans autres apprêts que celui de consignes structurant la trame des activités. Par ailleurs, au fil des activités, nous nous sommes attachés à conserver la diversité des thématiques de questionnements en souhaitant amener les élèves à identifier les différentes prises de positions et les divers arguments. Cela s'est manifesté d'abord dans la gestion de la discussion lors du jeu de rôle, puis lors de la recherche documentaire où nous avons orienté les investigations des élèves en gardant la largeur du spectre thématique au cœur de la controverse "nano". Ces choix nous ont effectivement permis d'amener les élèves à s'intéresser à diverses facettes des nanotechnologies. Toutefois, les analyses des productions des élèves ont mis en évidence une tendance des élèves à se déclarer globalement et de façon binaire pour les nanotechnologies, tout en tenant compte des risques.

L'autre élément important concerne le choix d'outils mis à disposition des élèves pour s'approprier la controverse. Nous leur avons donné à étudier des textes argumentatifs, tel qu'ils le font dans les disciplines dites "littéraires". Par ailleurs, en leur fournissant les cahiers d'acteurs du débat public mais aussi en les amenant à rechercher des informations sur Internet tout leur laissant la liberté de naviguer sur les sites leur paraissant pertinents, tel qu'ils auraient pu le faire seuls, s'ils avaient voulu s'informer de leur propre chef, nous leur avons d'une certaine manière fait la démonstration qu'ils possédaient des outils leur permettant de s'emparer à leur niveau d'une controverse socioscientifique.

Ceci étant dit, la compréhension par les élèves des controverses soulevées par les nanotechnologies pourrait être encore complexifiée. Par conséquent, dans une perspective de recherche

design-based, plusieurs considérations pédagogiques nous semblent pertinentes à formuler pour tenter d'améliorer l'adéquation des activités proposées aux élèves à l'enjeu éducatif que nous leur avons assigné.

10.2.2 Considérations pédagogiques, dans une perspective de recherche "*design-based*"

10.2.2.1 Conserver un examen de la controverse dans son ensemble ?

L'un des choix éducatifs principaux que nous avons effectué au terme de notre analyse des controverses, a été de confronter les élèves aux nanosciences et aux nanotechnologies telles qu'elles sont discutées en société. Il nous semblait en effet que, pour permettre aux élèves de comprendre les questions que posent les "nanos", il était nécessaire d'appréhender les débats dans leur globalité y compris en prenant en charge les questionnements interrogeant la manière dont les programmes de développement des nanotechnologies sont mis en œuvre en société.

Au terme de notre travail empirique, nous confirmons que ce choix éducatif est pertinent. La question que nous nous posons à présent est donc : comment permettre aux élèves, en conservant cette option forte, d'explorer plus en profondeur les différentes dimensions de la controverse ? Plusieurs pistes nous semblent à explorer.

10.2.2.2 Supprimer le vote qui précède la discussion post-jeu de rôle ou en modifier les modalités ?

Pour l'activité de jeu de rôle, l'un de nos choix pédagogiques nous semble à questionner. Avant d'entamer la discussion qui clôture la première séance, chaque groupe d'élèves doit préparer une phrase résumant "le ou les point(s) clé(s) mis en avant par l'organisation auteur du cahier d'acteurs" qu'ils ont étudié. Tour à tour, les élèves dictent ensuite ces phrases à l'enseignant. Puis, les élèves s'expriment au travers d'un vote au cours duquel ils doivent choisir les deux propositions leur semblant les plus importantes.

Nous avions fait ce choix d'introduire un vote pour forcer les élèves à se questionner sur ce qu'ils pensaient de ce qu'ils venaient d'entendre. L'inconvénient majeur de ce choix d'organisation de l'activité est qu'au moment de résumer "le ou les point(s) clé(s) mis en avant par l'organisation auteur du cahier d'acteurs" les élèves sont amenés à simplifier le contenu du document qu'ils ont étudié. Aussi, au lieu de conserver l'éventail des thèmes de débat et des prises de position mises en avant au travers du jeu de rôle, nous réduisons brutalement la complexité des débats. Les modalités de ce vote sont donc peut-être à modifier. Une façon de procéder pourrait consister à organiser le vote non plus autour de propositions tenant en une phrase, mais de proposer pour chaque acteur un petit texte de quelques lignes récapitulant les aspects importants du cahier d'acteurs. Ceci éviterait peut-être que les élèves ne soient amenés à trop réduire le contenu de leur cahier juste avant de s'engager dans la discussion.

Par ailleurs, pour permettre aux élèves de mieux situer qui sont les différents acteurs du jeu de rôle, il pourrait être judicieux, au moment de récolter les prises de position des acteurs, de demander aux élèves de rappeler qui est l'acteur auteur du cahier qu'ils avaient entre les mains. Cela permettrait d'aider les élèves à situer les acteurs juste avant la discussion en classe entière.

10.2.2.3 Travailler la gestion du débat pour dépasser les prises de positions "il y a des bénéfices et des risques qu'il faut prendre en compte"

Nous avons vu au travers de l'analyse du jeu de rôle que les élèves étaient capables de comprendre le contenu des cahiers d'acteurs du débat public. S'ils ont du mal à prendre en charge certaines dimensions de la controverse comme les interrogations adressées au modèle

économique et social sous-tendant ces développements technoscientifiques, les élèves n'en répercutent pas moins, lors du jeu de rôle, une diversité de questionnements et de prises de position sur les nanotechnologies. Ça n'est finalement qu'au travers de la discussion post jeu de rôle que beaucoup d'élèves adoptent un point du vue consensuel stipulant que les nanotechnologies ont des applications bénéfiques mais qu'elles comportent des risques à prendre en compte. Pour dépasser l'énoncé de ce type de positionnement, il nous semble qu'une variable sur laquelle il est possible de travailler est celle du rôle de l'encadrant. Outre l'incitation constante à faire expliciter leurs points de vue aux élèves, peut-être faudrait-il davantage pousser les élèves à discuter précisément les points de vue des acteurs tels qu'ils les ont rencontrés dans leur cahier d'acteurs ou dans le jeu de rôle [6].

De la sorte, en conduisant les élèves à se raccrocher plus systématiquement que nous ne l'avons fait au contenu du jeu de rôle et aux arguments des acteurs qu'ils ont étudiés, il pourrait être possible de les amener à mieux questionner ces arguments de façon critique. Ils pourraient alors peut-être dépasser les discours consensuels permis par le grand niveau de généralité du débat.

10.2.2.4 Modifier les consignes et les fiches guidant les recherches documentaires et étaler dans le temps cette activité ?

Si des pistes de modifications existent pour le jeu de rôle, il nous semble, au vu de nos analyses des données, que l'activité de recherche documentaire doit également être retravaillée notamment si l'on souhaite dépasser les positionnements vagues du type "les nanotechnologies peuvent apporter des bénéfices mais leur développement comporte des risques à prendre en compte".

Plusieurs pistes peuvent être creusées. D'abord, nous avons mis en évidence que certains élèves répercutaient des expressions issues des documents qu'ils avaient sélectionnés sans forcément en comprendre le sens. Cette situation nous semble problématique dans la mesure où nous voudrions les amener à questionner ces discours. Pour remédier à cette difficulté trois directions peuvent être explorées qui d'ailleurs ne s'excluent pas mutuellement.

D'une part, il serait possible d'ajouter une consigne en début des recherches documentaires pour avertir les élèves qu'il pourra leur être demandé lors de leurs présentations orales d'expliciter chacun des termes qu'ils emploieront.

D'autre part, l'activité de recherche documentaire telle que nous l'avons mise en place s'est déroulée pendant un temps relativement court (3H pour les recherches, l'exploitation des documents et les présentations). Peut-être faudrait-il modifier l'organisation de cette activité de manière à ce qu'elle soit moins ramassée dans le temps. Cela pourrait peut-être permettre aux élèves de mieux questionner le contenu des discours rencontrés, de disposer de davantage de temps pour élaborer leur avis personnel sur la thématique étudiée, mais aussi d'avoir du temps pour rechercher qui sont les acteurs dont ils étudient les prises de position.

Enfin, pour permettre aux élèves de mieux s'emparer des discours qu'ils rencontrent et de complexifier la construction de leur avis personnel, il pourrait être intéressant de faire écrire aux élèves le résumé détaillé de leurs présentations qui sert ensuite de première ébauche au cahier d'acteurs de la classe [7]. Dans le cadre d'une collaboration interdisciplinaire entre

6. Ainsi par exemple dès qu'un élève déclare qu'il faudrait "prendre en compte les risques des nanotechnologies", le gestionnaire de débat pourrait relancer l'élève en lui demandant :

- Qu'est-ce que tu entends par risque ? Est-ce que tu te réfères à quelque chose de particulier évoqué dans le jeu de rôle ou dans le cahier d'acteurs que tu as étudié ?

- Qu'est-ce que tu entends par prise en compte ? Y a-t-il des pistes "pour prendre en compte ces problèmes" qui ont été évoquées lors du jeu de rôle qui te semblent plus pertinentes que d'autres ?

- Le cahier d'acteurs que tu as étudié proposait-il des pistes pour "prendre en compte ces problèmes" ? Lesquelles ? Qu'en penses-tu ?

7. Jusqu'à maintenant, nous avions pris en charge cette rédaction, essentiellement pour des raisons d'emploi du temps : le temps disponible pour mettre en place la séquence pédagogique ne nous permettait pas de

plusieurs professeurs, cette activité d'écriture pourrait se dérouler pendant des heures de cours de français.

D'autres pistes de modifications de l'activité de recherche documentaire peuvent par ailleurs être explorées.

Notre analyse des fiches remplies par les élèves pour évaluer leurs sources documentaires a permis de mettre en évidence que les élèves proposaient des justifications laissant entendre que leurs choix de documents étaient souvent guidés par l'idée de répondre aux questions qui leur étaient posées plutôt que par l'idée de confronter les discours de différents acteurs. La mise en regard des productions des élèves et du contenu des documents sélectionnés a de plus permis de mettre en évidence que quelques-uns avaient mentionné lors de leurs présentations, des éléments absents des documents qu'ils avaient étudiés pendant la séance. Ces deux résultats nous semble indiquer que certains élèves déconnectent le contenu d'un discours de l'acteur qui le porte.

Pour remédier à cette limite à laquelle se heurte notre dispositif pédagogique, peut-être nous faut-il revoir nos consignes pour mieux mettre en avant l'importance de situer le discours des acteurs. Pour cela nous pourrions retravailler la fiche d'évaluation des sources proposée aux élèves.

Enfin, certaines questions guidant la recherche documentaire pourraient également être re-visitées. Il nous semble ainsi que la formulation de questions plus spécifiques pour aiguiller les groupes travaillant sur les enjeux économiques et sociaux des nanotechnologies pourraient peut-être leur permettre de mieux questionner cette dimension de la controverse. De même, peut-être nous faudrait-il revoir les questions guidant les recherches des élèves travaillant sur les utilisations en médecine des nanotechnologies, puisque ceux-ci ont eu du mal à répondre à la question sur la NBIC.

Finalement, les révisions de cette séance de recherche documentaire nous semblent d'autant plus importantes à mettre en œuvre que cette activité a beaucoup d'influence sur la suivante. Quelques modifications pourraient toutefois être aussi apportées à la dernière séance.

10.2.2.5 Retour critique sur la dernière séance, le positionnement de Nano@school vis-à-vis de la séquence et l'organisation de la "conférence"

Une discussion du cahier d'acteurs de la classe centrée sur les paragraphes censés refléter l'avis des élèves La gestion de la dernière séance telle que nous l'avons mise en place avec la classe de Romans a été rendue délicate par le double objectif qui lui était assigné. Dans un temps limité (et inextensible) les élèves devaient d'une part formuler des propositions de modifications à la synthèse de leurs présentations afin d'aboutir à un cahier d'acteurs de la classe. Et d'autre part, ils devaient préparer des questions pour la "conférence" devant se tenir au lycée quelques mois plus tard.

Ce dédoublement des objectifs a rendu délicate une discussion en profondeur du cahier d'acteurs de la classe.

Peut-être aurait-il été opportun de centrer la discussion devant aboutir au "cahier d'acteurs des élèves" sur les paragraphes consacrés à l'exposé de l'avis de la classe. Peut-être aussi que si les élèves avaient rédigé eux-mêmes la partie de la synthèse correspondant au thème qu'ils ont étudié lors de la recherche documentaire, cela aurait conduit au développement d'un sentiment d'"appropriation" du cahier d'acteurs plus important, amenant les élèves à discuter plus volontiers du contenu de ces paragraphes.

L'organisation de la dernière séance est en outre intervenue après Nano@school. Une question peut à ce propos être posée : le positionnement de Nano@school vis-à-vis de notre dispo-

procéder autrement.

sitif pédagogique était-il pertinent ? Et si c'est le cas, combien de temps après Nano@school serait-il préférable d'organiser cette ultime séance sur les nanotechnologies ?

Le positionnement de Nano@school vis-à-vis de notre dispositif est-il pertinent ? Concernant les ateliers Nano@school, une première chose peut être soulignée : ils ne sont pas vraiment intégrés à notre dispositif dans la mesure où les activités proposées aux élèves au lycée et à Grenoble sont pensées totalement indépendamment. Ceci relève d'ailleurs d'une stratégie délibérée de notre part. Nous voulions garder une distance suffisante avec un dispositif dont la mise en place résultait d'une négociation entre plusieurs acteurs aux intérêts divers et éventuellement contradictoires avec les nôtres. Les ateliers Nano@school ont ainsi été intégrés à notre séquence pédagogique simplement "par juxtaposition" en étant positionnés dans l'emploi du temps de la classe entre la deuxième intervention et la dernière séance en classe que nous avons proposées aux élèves.

Cette intégration de Nano@school n'a pas été sans poser un certains nombre de difficultés pour la construction de notre recherche empirique (contraintes d'emplois du temps, freins à la co-construction de la séquence pédagogique avec les enseignants), discutées en annexe de ce manuscrit (Annexe 17). Néanmoins, sur le fond, cette juxtaposition a pu se révéler intéressante pour deux raisons.

D'abord en venant à Nano@school, certains discours sur les nanoparticules ou la nanoélectronique que les élèves ont rencontrés en classe, ont peut-être été rendus moins abstraits. Il est possible que leur participation aux ateliers ait permis aux élèves d'éclairer ce qu'ils avaient pu entendre sur la taille des nanoparticules, de matérialiser la lourdeur des dispositifs nécessaires pour organiser la matière à l'échelle nanométrique (microscopes, salles blanches)..., tout en séparant nettement les moments et les lieux où ils recevait ce discours explicatif, de ceux où ils se confrontaient à une multiplicité de discours sur les nanotechnologies et où ils étaient chargés de formuler leur avis.

L'autre raison pour laquelle la participation aux ateliers Nano@school a pu être fructueuse, est que les élèves ont été confrontés dans ce cadre à des discours de communication sur les nanotechnologies. Ces discours, qui à la différence des textes qu'ils ont pu étudier en classe étaient incarnés, ont été questionnés par les élèves. En ayant travaillé sur les controverses auparavant, ils ont pu exercer leur capacité de questionnement critique sur ces discours, pour en pointer certaines limites et éventuellement ouvrir le débat sur les thématiques qui les intéressaient. Il nous semble donc qu'il était pertinent de leur proposer de se rendre à Grenoble pour prendre part à ces ateliers.

Enfin, d'un point de vue pédagogique, le fait que les élèves aient été à même de questionner le contenu des discours qu'ils ont entendus à Nano@school presque immédiatement après avoir participé à ces ateliers [8] nous semble indiquer que la dernière séance de notre dispositif pédagogique n'a pas besoin d'être éloignée dans le temps de Nano@school. Il pourrait par contre être pertinent d'ajouter systématiquement un moment de discussion, lors la dernière séance en classe, pour que les élèves puissent discuter de ce qu'ils ont entendu lors de leur venue à Grenoble, y compris dans le cas où la séquence pédagogique ne serait pas prolongée par une "conférence".

À ce propos, l'organisation de cette "conférence sur les nanotechnologies" au lycée a également nécessité le déploiement de quelques efforts pour rendre cette intervention la plus cohérente possible avec notre dispositif.

Quelle articulation entre l'organisation d'une "conférence" et le reste de notre dispositif ? Cette "conférence" a été mise en place à la demande de l'enseignante avec laquelle nous collaborions. Son organisation était motivée par une logique d'établissement.

8. La venue des élèves à Nano@school a eu lieu un vendredi et séance de préparation des questions pour le physicien s'est déroulée le lundi suivant.

Il s'agissait pour l'enseignante de faire bénéficier à un grand nombre d'élèves du partenariat entre le lycée et des chercheurs. Elle avait donc sollicité l'un des physiciens participant à l'encadrement de Nano@school pour donner une conférence magistrale à laquelle nous avons finalement associé les élèves de sa classe. Nous avons ainsi modifié l'organisation initialement prévue pour cette intervention. Nous ne pouvions en effet conserver un modèle de conférence frontale. Cela aurait été incohérent avec le reste de notre dispositif et ce, pour plusieurs raisons.

Alors que les élèves avaient travaillé à se documenter par eux-mêmes pour élaborer progressivement leur avis, l'organisation d'une conférence frontale aurait en quelque sorte écrasé ce processus. Un scientifique serait venu leur parler des nanotechnologies. Et la voix des élèves aurait été couverte par celle de l'expert. Pourtant les élèves avaient aussi réfléchi à ce thème et ils avaient des choses à dire. Les questions qu'ils ont préparées au terme de Nano@school nous laissent même penser qu'ils avaient peut-être envie d'entamer la discussion avec l'expert, que ce soit pour l'interpeller ou pour recueillir son avis. Toutefois, même si les élèves souhaitaient ouvrir le débat, le choix d'organiser une conférence magistrale n'aurait pas été propice à l'établissement d'un réel dialogue entre les élèves et le physicien.

D'une part, le physicien aurait été debout à l'estrade, alors que les élèves auraient été assis dans l'assistance. Le dialogue aurait donc d'emblée été dissymétrique. D'autre part, dans une conférence magistrale, pour s'engager dans une discussion avec le scientifique, un élève de l'assemblée doit, pour poser sa question ou bien réagir aux propos de l'intervenant, prendre la parole devant le reste de l'assistance (en l'occurrence les autres premières S du lycée). Cela nécessite donc que l'élève soit suffisamment sûr de lui pour demander le micro et engager la discussion. À moins que l'élève n'ait suffisamment d'assurance pour s'exprimer en public face à un expert, le dialogue risque d'avorter dans bien des cas.

Pour tenter de pallier cette situation d'office assymétrique, nous avons donc proposé aux élèves de présenter leur cahier d'acteurs en venant à l'estrade pour être sur un pied d'égalité avec le scientifique. Toutefois, malgré ce choix d'organisation, le dialogue n'a pas été vraiment possible. D'abord la difficulté à parler devant les autres est restée. Ensuite, la conférence a été organisée plus de trois mois après le déroulement de la séquence pédagogique et la venue des élèves à Nano@school. Ce décalage dans le temps a sans doute beaucoup refroidi les velléités des élèves de questionner le scientifique. La "conférence" s'est donc déroulée seulement sur le mode d'une intervention conjointe des élèves et du physicien, sans qu'un réel dialogue ne puisse s'établir.

Enfin, la cohérence de l'organisation de cette conférence avec le reste du notre dispositif pédagogique est questionnable sur un autre point. Alors qu'au travers des activités que nous avons proposées aux élèves, nous nous sommes efforcés de leur permettre de se confronter avec plusieurs discours, au cours de cette "conférence", seul un expert était convié pour présenter ce qu'étaient les nanotechnologies. Au lieu de continuer à encourager les élèves à mieux identifier la pluralité des acteurs participant à la controverse et à questionner le rôle de ces acteurs dans l'élaboration de solutions aux problèmes posés par les nanotechnologies, ici un seul expert venait s'exprimer. Ainsi, ce choix nous semble discutable si on le met en perspective avec le reste de notre dispositif.

10.2.3 La mise en œuvre des principes des recherches *design-based* dans notre travail

Si nous formulons ici ces considérations pédagogiques, c'est que nous nous positionnons dans une perspective de recherche *design-based*. Nous voudrions justement revenir sur les apports et les contraintes de cette approche qui a été l'un des fondements théoriques de notre travail.

10.2.3.1 Double visée de recherche et d'intervention et respect des participants à la recherche

Le premier des principes sous-tendant les recherches *design-based* (The Design-Based Research Collective, 2003) est un double objectif de développement d'environnements d'apprentissage et de développement de théories de l'apprentissage.

Dans notre cas, notre recherche visait à explorer comment des lycéens pouvaient comprendre les controverses soulevées par les nanotechnologies et comment ils pouvaient se montrer critiques par rapport aux discours rencontrés sur ces développements technoscientifiques. Comme nous l'avons montré dans notre revue de littérature (voir chapitre 2), il s'agissait là de répondre à des questionnements absents de la littérature de recherche en éducation aux sciences, questionnements qui entraient en résonance avec une demande du "terrain".

Nos travaux ainsi menés dans un cadre de recherche, nous ont aussi permis de travailler avec des élèves et leurs enseignants, tout en respectant les sujets prenant part au projet puisque chacun y trouvait un intérêt.

De plus, outre nous permettre d'éviter d'instrumentaliser des sujets, cette conciliation entre objectif de recherche et objectif de développement d'apprentissage nous a permis d'obtenir le soutien de l'institution scolaire pour intervenir au sein de classes de lycée, mais aussi celui de chercheurs en sciences intéressés par la production d'une séquence pédagogique sur les dimensions controversées des développements des nanotechnologies.

10.2.3.2 Des cycles d'élaboration de séquence d'enseignement, de mise en œuvre et d'analyse pour documenter quelle forme peut prendre la scolarisation des controverses "nanos"

Le deuxième principe sous-tendant les recherches *design-based* est qu'elles sont conçues suivant des cycles continus d'élaboration, de mise en œuvre, d'analyse et de ré-élaboration de séquences d'enseignement. Comme nous l'avons signalé au chapitre 5, notre recherche s'intéresse à la manière dont il est possible de mener des activités en classe sur les controverses soulevées par les nanotechnologies. En procédant par cycles d'élaboration, de mise en œuvre en classe, d'analyse et de raffinement de la séquence pédagogique, nous avons pu identifier une manière possible d'aborder en classe les controverses soulevées par les nanotechnologies cohérente avec une visée de formation du citoyen aux enjeux des développements technoscientifiques actuels. Nous avons ainsi pu documenter empiriquement la forme que pouvait prendre cette mise en débat en contexte scolaire, en testant des scénarii pédagogiques possibles, tout en les ajustant à nos terrains pour tenir compte "de ce qui marchait", en cohérence avec l'enjeu éducatif de notre recherche.

Opérer ces cycles a toutefois eu un coût. Cela a nécessité de nouer plus de contacts sur le terrain, cela a nécessité de multiplier les recueils de données et a augmenté la lourdeur du travail d'analyse.

10.2.3.3 Produire des savoirs communicables

Le troisième principe au fondement des recherches *design-based* stipule que ces recherches sont poursuivies pour échafauder des théories pouvant être réutilisées et partagées.

Dans notre recherche, cet attachement à produire des résultats communicables et réutilisables par la communauté des chercheurs en éducation est passé d'abord par le choix de travailler avec des classes sans spécificités particulières, outre leur participation à Nano@school.

Il s'est également traduit par une explicitation la plus systématique possible des choix sous-tendant la conception et la mise en œuvre de la séquence pédagogique proposée aux élèves. En tâchant de laisser le moins de choses possibles au hasard dans la conception des séances et nous efforçant de rendre compte le plus exhaustivement possible des modalités de

leurs mises en œuvre, nous avons mis à disposition d'un lecteur intéressé les informations permettant de reproduire la séquence pédagogique que nous avons proposée, sans trahir les choix importants qui ont présidés à sa construction, choix effectués en cohérence avec l'enjeu éducatif que nous lui avions assigné.

De cette manière, bien qu'on ne puisse jamais travailler dans un "environnement contrôlé" et bien que l'enseignement soit un processus dynamique, nous avons été capables de mettre en œuvre l'activité dans quatre classes différentes, en pouvant rendre compte à chaque fois des modifications effectuées à la séquence pédagogique, des éléments que nous avions conservés et des raisons sous-tendant les décisions d'opérer ou non des changements à l'activité.

Le prix à payer pour rendre possible cette explicitation des choix a été de tenir un carnet de bord rendant compte du processus de construction de la séquence pédagogique, mais aussi d'élaborer les activités en s'interrogeant à chaque pas sur leur cohérence avec l'enjeu éducatif, le questionnement de recherche et les ancrages théoriques retenus pour notre travail.

10.2.3.4 Des données très riches garantissant la robustesse des résultats produits

Un quatrième principe des recherches *design-based* concerne l'aspect méthodologie. D'après le collectif des recherches *design-based* (2003), ces recherches doivent mobiliser des méthodologies permettant de connecter les processus de mise en œuvre pratique à l'obtention de résultats. Dans notre recherche, nous nous sommes efforcés d'assurer cette connexion en anticipant, lors de la conception des activités ou de leur raffinement, en quoi les données récoltées allaient nous permettre de répondre à notre questionnement de recherche. Ceci nous a amenés à récolter une diversité de données, tout au long de la mise en œuvre de la séquence pédagogique. L'ensemble des données recueillies forme ainsi un ensemble cohérent apportant plusieurs éclairages différents à nos questionnements. La richesse du matériau récolté a de plus permis de renforcer la robustesse de nos résultats. Le revers de cette manière de procéder est toutefois qu'il faut gérer l'abondance des données à analyser.

10.2.3.5 Un travail avec des classes sans singularité évidente permettant d'aboutir à des résultats réutilisables ailleurs

Enfin, le dernier principe que propose le collectif des recherches *design-based* dans son article séminal de 2003, affirme que ces recherches doivent rendre compte de la manière dont la séquence d'enseignement élaborée fonctionne dans des terrains "authentiques".

Dans notre recherche, travailler avec des classes de lycée ne bénéficiant pas d'un aménagement particulier a comporté un certain nombre de contraintes : séances en temps limité, nécessité de tenir compte de la pression pesant sur les enseignants pour finir le programme, élèves plus ou moins fatigués suivant l'horaire des séances... Cela nous a aussi conduits à mettre entre les mains des élèves du matériel accessible dans n'importe quelle classe de lycée. Toutefois, se plier à ces contraintes nous a permis de produire des résultats de recherche et des outils pédagogiques réutilisables par les enseignants.

Travailler dans un contexte scolaire "authentique" nous a également permis de nous appuyer sur ce que des élèves de niveau première S étaient censés savoir faire et pas seulement dans les disciplines scientifiques. Pour leur faire étudier la controverse, nous avons ainsi pu réutiliser leurs capacités d'analyse de textes argumentatifs développées et mobilisées d'ordinaire les disciplines dites "littéraires".

Enfin, puisque nous travaillions dans un cadre authentique, les résultats que nous avons obtenus en matière de compréhension des controverses soulevées par les nanotechnologies comme en matière de mise à distance des discours par les élèves sont aussi à considérer à la lumière de ce qu'on peut attendre d'un lycéen. Dans un cadre scolaire, il nous semble qu'arriver à intéresser les élèves aux controverses soulevées par les nanotechnologies et leur montrer qu'ils ont les moyens de s'emparer de ces questionnements constitue déjà un résultat important.

Toutefois pris dans l'espace social, les discours des élèves peuvent être questionnables. C'est ce dont nous souhaiterions discuter à présent.

10.3 Quelques questions sur l'étude en classe des controverses socioscientifiques, en particulier celles soulevées par les nanotechnologies

10.3.1 Des similitudes entre les discours des élèves et le discours de "l'innovation responsable"

L'analyse des productions des élèves a montré qu'au moment de formuler leur opinion, ils s'exprimaient souvent de manière générale et binaire. Plusieurs d'entre eux ont ainsi affirmé que les développements des nanotechnologies pouvaient avoir des retombées "bénéfiques" mais qu'ils comportaient également des risques qu'il convenait de prendre en compte. Cette façon de formaliser leur avis nous semble intéressante à confronter à certains résultats issus de la sociologie de des sciences et de l'innovation sur la participation des publics aux programmes nanotechnologiques.

Dans un ouvrage intitulé "les politiques des nanotechnologies", Laurent (2010) interroge les manières dont est pensée et se traduit l'intégration du public au programme global de développement des nanotechnologies en France et aux États-Unis. Dans ce cadre, cet auteur souligne la prégnance d'un discours vague de "l'innovation responsable" selon lequel les développements des nanotechnologies comportent des "risques" et soulèvent des questions éthiques. Aussi, selon cette approche de "l'innovation responsable", ce "revers de la médaille" (qui existe pour les nanotechologies comme pour tout autre domaine scientifique) doit être pris en compte de sorte à tirer un profit maximum des "bénéfices" des nanotechnologies. Les "parties prenantes" doivent alors être conviées au dialogue et le public doit être "informé" des aspects bénéfiques comme des implications de ces développements.

Les similitudes entre cette façon d'appréhender le débat sur les nanotechnologies et les discours des élèves lorsqu'ils expriment des avis "faisant la part des choses" sont importantes. On peut par conséquent s'interroger. Les élèves formulent-ils un premier avis général qui pourrait relever du discours de l'innovation responsable ? Reprennent-ils, éventuellement à leur insu, ce type de discours assez proche de ce qu'on peut lire dans le cahier d'acteurs du CNRS et du CEA qui vante "l'approche responsable" du développement des nanotechnologies que ces organismes affirment avoir adoptée ?

Quoi qu'il en soit, le rapprochement que nous faisons entre les discours des élèves et ceux de "l'innovation responsable" ne va pas sans poser certaines interrogations.

10.3.2 En quoi un discours des élèves reprenant celui de "l'innovation responsable" peut-être problématique ?

La tenue par les élèves d'un discours présentant des similarités avec celui de l'innovation responsable nous semble d'abord problématique en terme d'appropriation de la controverse.

Certes, l'objectif posé au chapitre 3 à la suite de Larochelle et Désautels (2006) de permettre aux élèves de dire "ça m'intéresse" est en partie atteint puisque plusieurs élèves affirment explicitement que tous les citoyens, y compris eux, sont concernés par les questions que posent le développement des nanotechnologies. Toutefois, lorsque les élèves affirment qu'il faut faire la part des choses et que les nanotechnologies comportent des bénéfices et des risques à prendre en compte, ce discours nous semble occulter la complexité de la controverse. Pour ne prendre que l'exemple des interrogations soulevées par les utilisations des nanoparticules et des nanomatériaux : en disant que ces développements comportent des bénéfices mais aussi des risques, les élèves ne questionnent pas l'intérêt du choix de développer certaines techno-

logies ; ils ne discutent pas des problèmes liés à la mise en place d'une réglementation, ils ne s'interrogent pas sur les difficultés que cela soulève pour la définir, pour la faire respecter... Ils ne se heurtent pas à la diversité des nanoparticules, ils n'interrogent pas les problèmes de définition qui se posent au moment de mettre en place une normalisation, ils n'abordent pas les problèmes de détection des substances étiquetées du préfixe nano, ils n'évoquent pas les questions liées à la mise au point de dispositifs matériels ou législatifs pour protéger les travailleurs exposés aux nanoparticules...

De plus, le caractère flou et binaire de ce discours le rend à première vue difficilement contestable et donc plus délicat à dépasser. (Qui oserait affirmer qu'il faut être contre "les bénéfices des nanotechnologies" et qu'il ne faut pas prendre en compte "les risques" ?)

Adopter ce type de point de vue aux allures modérées nous semble ainsi une entrave à l'exploration par les élèves de la controverse, en particulier à l'exploration des questions politiques que posent les développements des nanotechnologies.

Cette réduction de la complexité des débats nous paraît d'autant plus problématique si on la met en perspective avec les questions de participation des citoyens aux choix politiques sur des questions scientifiques et technologiques.

Certes, notre objectif n'était de permettre la participation des élèves à la controverse dans un cadre scolaire. Nous avions laissé la participation à des actions citoyennes en dehors de l'école. Toutefois l'enjeu éducatif de notre recherche consistait à munir les élèves d'outils intellectuels pour s'emparer des questionnements soulevés par les nanotechnologies et pour qu'ils puissent, si un jour ils le souhaitent, s'engager de manière informée dans l'action sociale et politique. Par conséquent, dans la mesure où les discours de l'innovation responsable occultent les questions politiques posées par les nanotechologies, il nous semble que la tenue par les élèves de discours qui en sont proches est problématique.

L'étude de la traduction dans les faits des discours de l'innovation responsable par Laurent (2010) a d'ailleurs montré que ce type de discours favorisait une distribution particulière des rôles politiques qui, par exemple, ne permettait pas vraiment aux non-experts de participer à l'élaboration de solutions aux questions que posent les "substances nano"[9]. Ainsi, puisque notre objectif était d'équiper les élèves d'outils intellectuels pour comprendre les enjeux des développements technoscientifiques actuels, renforcer des discours dont les traductions poli-

9. En matière de "gestion des risques", Laurent a mis en évidence que le discours de l'innovation responsable se déclinait de plusieurs manières. Une façon de penser la "gestion responsable" des risques consiste à procéder de manière totalement délégative, tout en séparant distinctement le social et le technique. Selon cette approche, il existe un fossé entre la perception subjective du risque et la "réalité du risque" qu'il convient d'évaluer. Cette évaluation des risques est présentée comme ne posant pas de difficultés particulières et elle est dévolue aux chercheurs et aux ingénieurs.

L'intégration du public au programme des nanotechnologies peut alors être pensée sur le mode de la communication. Il s'agit dans ce cas d'expliquer au public sans emphase "la réalité du risque" pour éviter qu'il ne développe un sentiment de méfiance à l'encontre des nanotechnologies. Pour un pays, ce sentiment serait en effet un handicap pour garder un rang acceptable dans la course à l'innovation et il serait aussi préjudiciable à l'exploitation optimale des potentialités des nanotechnologies.

Toutefois, la gestion du risque proposée par les tenants de "l'innovation responsable" ne se réduit pas toujours à une communication sur les risques en aval de leur gestion. L'intégration du public peut aussi impliquer une mesure des "inquiétudes sociales" pour mieux définir ce qui est un "risque socialement acceptable". La gestion politique du risque tient alors compte des résultats de ces mesures de la "réalité sociale" pour mieux apprécier le niveau de risque toléré. La gestion du risque est alors adaptée à ce que la société est prête à accepter.

Pour Laurent, les problèmes posés par nanoparticules et nanomatériaux sont d'abord liés à l'incertitude sur l'existence même de ces objets. Selon lui, une substance chimique n'existe que par le biais d'un ensemble de textes juridiques mais aussi d'instruments et de classifications permettant de le caractériser de manière standardisée. Or pour les substances nano, tous ces éléments ne sont stabilisés. Par conséquent, pour Laurent, les approches de l'innovation responsable, en occultant ces incertitudes, sont porteuses d'un certain ordre politique. Et cet ordre politique particulier conduit à l'éviction des non-spécialistes puisque ceux-ci ne sont là que pour assimiler les résultats de recherches ou se plier aux régulations produits par d'autres.

tiques excluent les citoyens de la négociation des choix politiques sur les nanosciences et les nanotechnologies nous semble problématique.

Finalement, cette difficulté à laquelle notre dispositif semble achopper peut être rapprochée des discours produits dans l'espace public par des citoyens s'exprimant sur les nanotechnologies au travers d'autres dispositifs revendiquant, eux, le qualificatif de participatif. Laurent (2010) a ainsi montré que les discours de l'innovation responsable s'accompagnaient d'un déploiement de procédures censées permettre la mise en place d'un "dialogue avec le public". Ces dispositifs, qui vont d'expositions dans les musées de sciences à l'organisation de conférences de citoyens ou de débats publics ont, selon Laurent, des objectifs ambivalents. D'un côté, il s'agit d'anticiper un potentiel rejet des nanotechnologies. La solution participative est alors une manière d'informer public pour qu'il apporte son soutien à des évolutions scientifiques et technologiques. De l'autre, il s'agit de "recueillir la parole des citoyens" et permettre un engagement du public en amont du développement des nanotechnologies. Laurent note alors que certaines de ces procédures "participatives" conduisent aussi le public y prenant part à reconnaître qu'il existe des risques qui doivent être pris en compte et des questions éthiques qui doivent être posées, sans toutefois vraiment leur permettre d'aller au delà de ces discours. Notre dispositif semble ainsi se heurter à l'une des difficultés que rencontre aussi les dispositifs de "participation du public" sur les nanotechnologies.

Si un discours des élèves qui reprendrait celui de "l'innovation responsable" nous semble problématique, il nous semble intéressant de ne pas en rester là et de réfléchir à la question suivante :

Pourrions nous amener les élèves à complexifier leur compréhension de la controverse dans un dispositif pédagogique se déroulant dans un temps compatible avec celui dont les enseignants disposent ?

Apporter des éléments de réponse à cette question appelle d'autres recherches. Nous pouvons néanmoins déjà discuter de ce que pourrait vouloir dire aller "au-delà" de ces discours dont la consonance nous rappelle ceux de l'innovation responsable.

10.3.3 Des recherches sur les questions socioscientifiques pour aller au delà d'un discours proche de ceux de l'innovation responsable

10.3.3.1 Des recherches centrées sur l'identification des intérêts des acteurs de la controverse

Amener les élèves à dépasser un discours proche de celui de l'innovation responsable ne veut pas dire confondre l'appropriation de la controverse dans un cadre scolaire avec la participation citoyenne aux définitions des politiques des nanosciences et les nanotechnologies en société. L'objectif des activités proposées aux élèves est avant tout un objectif éducatif d'apprentissage du fonctionnement des technosciences. Et si nous visons bien au travers de notre dispositif pédagogique à contribuer au processus d'éducation aux sciences pour l'action socio-politique, nous ne prétendons pas amener les élèves à prendre part, dans le cadre scolaire, à la controverse publique sur les nanosciences et les nanotechnologies. Nous laissons cela en dehors de l'école. Ceci étant dit, nous souhaitons au travers des activités auxquelles ils prennent part, outiller les élèves pour se construire un premier avis informé sur ces développements. Et c'est à ce niveau que nous voulons travailler.

Il nous semble que la prégnance des prises de positions du type "les nanotechnologies vont apporter des bénéfices mais comportent des risques" dans les propos des élèves est peut-être liée au niveau de discussion sur les acteurs qui reste peu élaboré. Rien n'assure donc que les élèves cernent clairement qui sont les différents acteurs de la controverse, quels sont leurs intérêts, leurs visions du monde et enfin quels sont les rapports de forces qui se nouent entre

eux.

Si nous souhaitions dans des travaux futurs, amener les élèves à dépasser un discours proche de l'innovation responsable, cela impliquerait donc selon nous, de leur permettre de complexifier leur compréhension de la controverse, notamment en connectant mieux les prises de positions et les arguments avec l'identité des acteurs qui les soutiennent. Cette connexion est possible, selon nous, s'ils identifient qui sont les principaux acteurs participant à la controverse, quels sont leurs rôles, leurs intérêts. Ceci pourrait être d'autant plus pertinent que nous avons constaté, dans notre dispositif, que les élèves s'étaient montrés critiques par rapport aux discours tenus sur les nanotechnologies à Nano@school. Or ces discours ont été incarnés et les élèves avaient en main quelques éléments pour discuter des objectifs de leurs locuteurs à savoir, selon les élèves, "vanter les mérites des nanotechnologies". Nous y voyons là un indice témoignant des capacités potentielles des élèves à comprendre d'où parlent les acteurs de la controverse et à s'interroger de manière critique sur leurs intérêts.

Cet accent sur l'identification des acteurs de la controverse et de leurs intérêts, en plus de l'établissement de connexions entre les points de vue et les acteurs qui les défendent, nous semble ainsi un élément important à explorer dans le cadre des recherches visant le développement d'une éducation aux sciences préparant les élèves à l'action socio-politique. Ce travail spécifique mettant l'accent sur les acteurs de la controverse nous semble pour l'instant avoir peu été exploré hormis dans les travaux de Pouliot (2008, 2010). Cette auteur revient sur l'identification par les élèves des acteurs intervenant dans la controverse sur les effets des ondes électromagnétiques des téléphones portables et explore également leur relation aux acteurs qu'ils considérent comme des experts.

10.3.3.2 Retour sur le modèle de scolarisation des controverses d'Albe : importance de l'analyse des controverses

Si la manière dont des élèves identifient les intérêts des acteurs prenant part à des controverses socioscientifiques semble assez peu abordé dans la littérature de recherche en éducation, l'importance de l'identification des intérêts des acteurs de la controverse par les élèves n'apparaît pas non plus explicitement dans le modèle de scolarisation des controverses proposé par Albe (2007). Nous suggérons donc de compléter son modèle pour une écologie des controverses socioscientifiques [10] en explicitant, dans la dimension épistémologique de cette construction théorique, l'importance des savoirs sur les acteurs de la controverse c'est-à dire de l'importance de l'identification des acteurs, de leur rôle, de leurs intérêts, des rapports de force qui peuvent exister entre eux et éventuellement de leurs visions du monde. Pour la conception et l'analyse d'une étude en classe de la controverse, cette identification des intérêts des acteurs et la connexion entre les acteurs et leurs prises de position est documentée au travers de l'analyse épistémologique et sociologique des controverses (voir figure 10.1).

À ce propos, l'intérêt de ce genre d'analyses pour les recherches en éducation sur les questions socioscientifiques nous semble de nouveau à souligner. Non seulement, elles permettent de tirer une intelligibilité dans la controverse à des fins de recherche. Mais cette étape d'analyse s'avère aussi être un outil pertinent et opératoire pour permettre la construction de dispositifs pédagogiques cohérents avec l'enjeu éducatif très largement mis en avant dans les recherches sur les questions socioscientifiques, de formation de citoyens à comprendre et agir dans nos sociétés hautement scientificisées et technologisées. Les analyses de controverses socioscientifiques et l'explicitation des liens entre cette analyse et la construction de dispositifs pédagogiques à des fins de recherches et/ou d'intervention nous semblent cependant rares dans la littérature de recherche sur les questions socioscientifiques. La construction des dispositifs pédagogiques proposés aux élèves et des choix sous-tendant ces constructions restent la plupart du temps assez opaques. L'explicitation des raisons sous-tendant les choix

10. Ce modèle a été présenté au chapitre 3.

de ressources retenues pour élaborer des activités sur des controverses socioscientifiques nous semblent pourtant essentielle.

10.3.4 Notre recherche sur les controverses "nanos" dans le paysage de la recherche en éducation

Finalement, pour refermer ce dernier chapitre, nous voudrions nous interroger ce qu'apporte notre travail dans le paysage de la recherche.

Notre revue de la littérature de recherche sur l'introduction des nanosciences et des nanotechnologies dans l'enseignement secondaire (qui s'arrête à l'été 2012) a montré qu'en dépit des discours sur l'importance de faire acquérir aux élèves une "nanoliteracy", aucune recherche n'avait été menée sur l'appréhension par des élèves du secondaire des multiples interrogations politiques, sociales et économiques soulevées par les nanotechnologies. Seul, le travail de Simonneaux *et al.* (2012) s'est intéressé à la manière dont des élèves de lycée discutaient d'une facette controversée des développements des nanotechnologies, mais sous l'angle particulier de la "perception du risque", dans une recherche centrée sur un débat éthique sur le caractère souhaitable ou non des améliorations de l'humain. [11].

Sur le plan interventionniste, nous avons donc, au travers de notre thèse, proposé un dispositif pédagogique visant à fournir des outils intellectuels aux élèves pour s'emparer de la diversité des questionnements éthiques, sociaux, économiques et politiques soulevés dans les controverses "nanos". Et, du point de vue de la recherche, nous avons documenté, d'une part, comment des élèves de lycée de niveau première S de l'enseignement français appréhendaient les controverses soulevées par les nanotechnologies ; et d'autre part, dans quelle mesure ils prenaient de la distance par rapport aux différents discours portés par les acteurs de la controverse. Nous avons ainsi mis en évidence que des élèves de lycée étaient capables d'identifier les différents volets de questionnements de la controverse et qu'ils pouvaient se montrer critiques face à certains discours, notamment ceux qu'ils considéraient comme s'apparentant à des discours de communication, voire d'acceptabilité des nanotechnologies. Leur appropriation des différentes dimensions de questionnement reste cependant assez générale et au moment d'exprimer leur positionnement sur la controverse, bon nombre d'élèves adoptent un positionnement vague et binaire stipulant que les nanotechnologies ont des bénéfices mais également des risques qu'il est nécessaire de prendre en compte. Nous avons rapproché ce résultat avec les travaux issus du champ de la sociologie des sciences et de l'innovation qui s'interrogent sur la participation des publics en matière de nanotechnologies et sur la traduction politique des discours "de l'innovation responsable".

Nous voudrions également revenir sur les apports de notre travail par rapport aux recherches en éducation aux sciences sur les questions socioscientifiques. [12]

Les controverses soulevées par les nanotechnologies ont-elles des spécificités par rapport aux autres controverses socioscientifiques ? Nous n'avons pas les moyens de mener une analyse comparative. Nous pouvons néanmoins pointer un trait important des nanotechnologies que notre analyse des controverses a mis en lumière : ce qui est controversé au travers des nanotechnologies et ce qui nous semble remis en cause parfois vivement à travers elles, c'est un mode de fonctionnement de l'activité scientifique. Sont ainsi questionnés : le financement de la recherche, la place des citoyens dans les processus de décision, les modes de valorisation

11. La description du travail de Simmoneaux et al. (2012) et la discussion que nous proposons de son contenu sont détaillées à la fin du chapitre 2.

12. Les réflexions que nous allons livrer dans ce dernier paragraphe s'appuient sur l'aperçu du champ de recherche en éducation sur les questions socioscientifiques que nous avons proposé au chapitre 3. Cet aperçu s'arrête à des recherches menées en 2009. Une revue de la littérature plus récente serait utile pour mieux asseoir ou infirmer certains éléments que nous allons avancer ici. Nous proposons néanmoins quelques pistes de réflexion en nous adossant à cet aperçu.

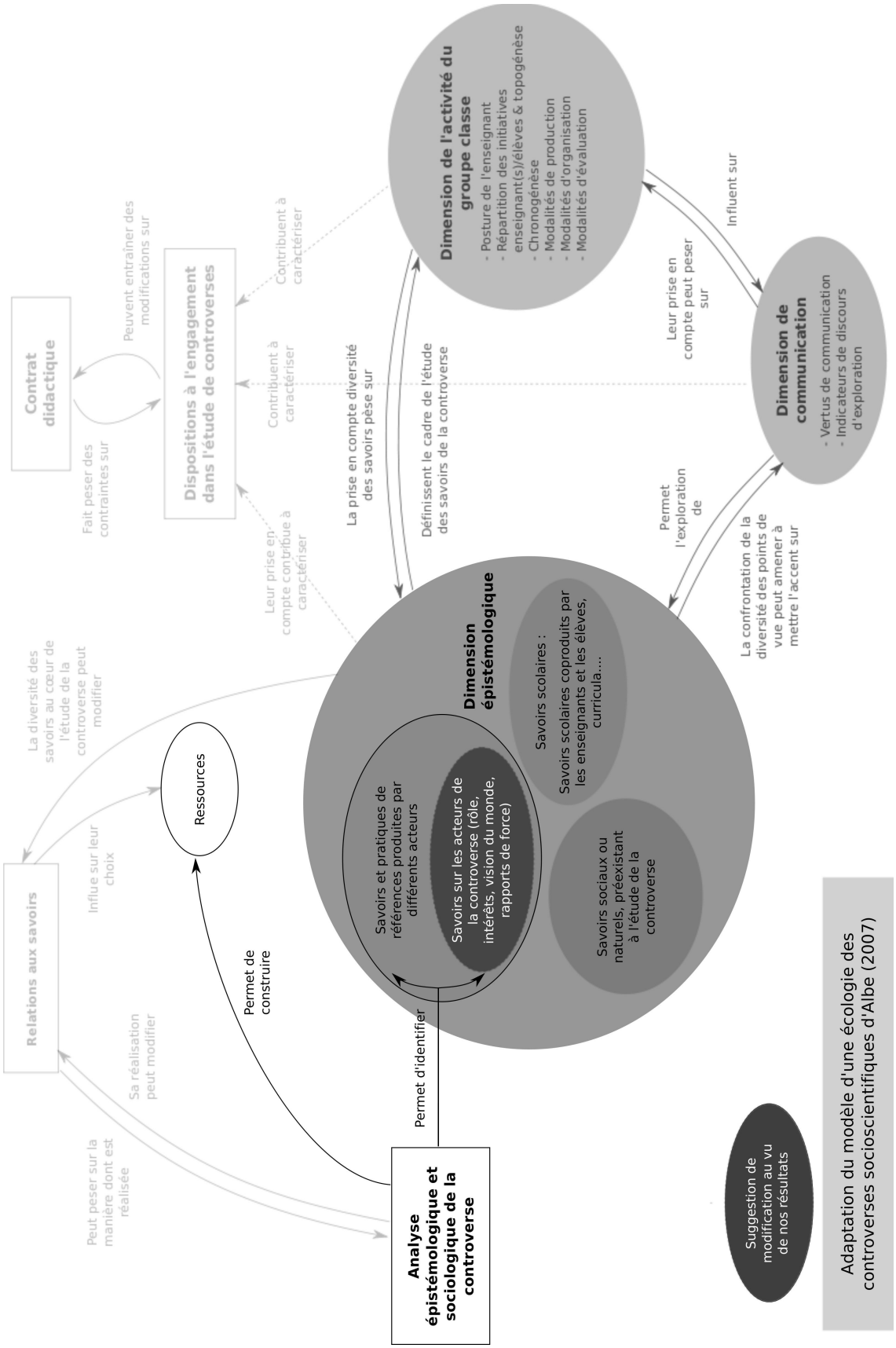


FIGURE 10.1 – Proposition de révision du modèle d'une écologie des controverses socioscientifiques d'Albe (2007) pour expliciter l'importance de l'identification du rôle, des intérêts mais aussi éventuellement des visions du monde des différents acteurs, ainsi que des possibles rapports de force existant entre eux. Le schéma ci-dessus est une adaptation du modèle qui traduit la manière dont nous le comprenons.

de la recherche, les problèmes de propriété intellectuelle ou encore les idéologies sous-tendant l'adoption de certaines politiques scientifiques.

Par conséquent, l'enjeu majeur d'un traitement des controverses soulevées par les nanotechnologies en classe nous semble d'ordre socio-politique. Il s'agit pour les élèves de cerner que ce qui est interrogé ou même contesté par certains acteurs, ça n'est pas seulement les productions technoscientifiques qui sortent des laboratoires publics ou industriels ; c'est aussi un modèle de fonctionnement particulier des sciences et des technologies en société.

Partant de cette analyse, nous n'avons pas orienté notre recherche ni sur les questions de motivation, ni sur l'acquisition de connaissances scientifiques par les élèves tel que cela est fait dans certaines recherches sur les questions socioscientifiques. Certes, il est essentiel que les élèves ne s'investissent pas à reculons dans les activités qu'on leur propose pour qu'ils discutent des enjeux des nanotechnologies. Toutefois, l'enjeu éducatif premier de notre recherche n'était pas de faire "aimer les sciences et les technologies" aux adolescents. Il s'agissait plutôt de permettre aux élèves de complexifier leur compréhension des controverses soulevées par les nanotechnologies [13]. Par ailleurs, une recherche focalisée sur l'acquisition de concepts scientifiques au travers de l'étude de questions socioscientifiques ne nous aurait pas permis non plus de documenter comment les élèves appréhendaient les enjeux politiques du développement des nanotechnologies qui font la vivacité des questions soulevées par les "nanos".

Nos résultats peuvent également assez difficilement être confrontés à ceux obtenus dans des travaux en éducation sur les questions socioscientifiques s'intéressant à la compréhension de la "nature des sciences" par les élèves. Parmi ces recherches beaucoup s'intéressent à outiller les élèves pour comprendre la construction des faits scientifiques par les chercheurs. De nouveau, puisque nous avions estimé qu'au travers des nanotechnologies, ce qui était remis en question allait au delà de ce qui se passe dans l'enceinte des laboratoires, notre choix de problématisation a différé de ceux dominant dans les recherches sur la "nature des sciences".

Quelques-uns de nos résultats peuvent en revanche être confrontés à ceux obtenus dans des recherches portant sur le "développement d'une pensée complexe des élèves" pour reprendre l'expression de Sadler (2009).

D'abord, nous avons montré que lors de leur participation au jeu de rôle, les élèves intervenaient sans n'avoir recours qu'exceptionnellement à des argumentations fallacieuses. Nos résultats diffèrent ici de ceux de Simonneaux (2001a) qui concluait à partir de ses travaux sur les biotechnologies que ce type de protocole de débat favorisait le recours des élèves à l'ironie et la provocation.

Par ailleurs, dans des travaux sur le contenu de l'argumentation des élèves lors d'un débat sur l'utilisation de cellules souches embryonnaires, Molinatti (2007) a mis en évidence la manifestation d'une sorte d'idéologie du progrès chez les élèves. Sans aller jusque là, nous retrouvons nous aussi dans les propos des élèves un intérêt marqué pour ce que les "nanotechnologies vont apporter" certains élèves s'y référant d'ailleurs en parlant de "progrès".

Un autre de nos résultats peut aussi être rapproché de ceux obtenus par Kolstø (2001b). Lorsqu'il s'est intéressé à la manière dont les élèves évaluaient la fiabilité des informations et choisissaient d'accorder leur confiance à telle ou telle autorité, ce chercheur a montré que certains élèves semblaient chercher des autorités neutres, même s'il leur était difficile de définir lesquelles l'étaient. Nous avons aussi relevé des marques de confiance dans le ministère des finances, de l'économie et de l'industrie, source officielle considérée comme "neutre" par l'un des groupes d'élèves lors de la recherche documentaire.

Parmi les recherches sur les questions socioscientifiques, d'autres visent aussi à préparer les élèves pour l'action sociale et politique. Certaines d'entre elles, comme celles de Roth et Lee

13. Au passage, on peut cependant noter que l'investissement des élèves dans les activités pédagogiques que nous leur avons proposées, suggère que les élèves s'y sont engagés très activement.

(2004), d'Hogan (2002b), de Jiménez-Aleixandre et Pereiro-Muñoz (2002) ou dePatronis *et al.* (1999) les conduisent à s'engager directement dans la controverse (voire les placent même dans le rôle de producteurs de savoirs). Pour notre part, nous avons fait le choix de ne pas viser une telle participation directe à la controverse. Nous avons délibérément laissé hors de l'école le déploiement d'un engagement réel des élèves au sein d'associations ou d'espaces participatifs sur les nanotechnologies, cherchant seulement à leur permettre de comprendre au travers d'une série d'activités pourquoi le projet de développement des nanotechnologies soulève des prises de position contradictoires. Cette différence d'objectif éducatif mais aussi de problématisation de la recherche est à mettre en perspective avec les spécificités des controverses au cœur de ces travaux et le cas des nanotechnologies. Dans ces recherches où les élèves s'engagent comme acteur social, la controverse se joue à une échelle locale. Ils s'agissait en effet dans trois cas sur quatre de faire travailler les élèves sur des problèmes environnementaux et des questions de qualité de l'eau (Hogan, 2002b; Jiménez-Aleixandre et Pereiro-Muñoz, 2002; Roth et Lee, 2004) et dans le dernier cas, d'amener les élèves à produire une recommandation sur la construction d'une route située non loin de leur école (Patronis *et al.*, 1999). En revanche, dans le cas des nanotechnologies, les questions posées par leur développement ne sont pas circonscrites géographiquement. Au contraire, les nanotechnologies interrogent globalement et sur plusieurs fronts le programme politique qui les sous-tend. Étant donné que, dans notre recherche, nous avons fait le choix de ne pas réduire la complexité de la controverse, le choix de focale pour l'examiner a été beaucoup plus large que celui prévalant dans ces travaux conduisant les élèves à s'engager comme acteurs sociaux sur une question socioscientifique.

Les autres recherches que nous avons répertoriées dont l'objectif est d'initier les élèves à l'action sociale et politique, s'appuient elles sur des situations fictives (Pedretti, 1999; Larochelle et Désautels, 2001; Hogan, 2002a). Dans ces travaux, les auteurs proposent une reconstruction d'une situation hypothétique permettant aux élèves de s'engager dans l'examen des différents points de vue sur une question socioscientifique. Notre recherche se rapproche de ces travaux dans la mesure où nous cherchions également à permettre aux élèves de s'emparer de la diversité des prises de position et des arguments sur une controverse socioscientifique mis en avant par différents acteurs. Toutefois, une différence majeure nous semble à souligner. Dans notre cas, la situation proposée aux élèves n'était pas fictive. Nous avons fait le choix de faire pénétrer en classe les questionnements soulevés par les nanotechnologies tels qu'ils existaient en société, sans proposer aux élèves de recomposition de la controverse à visée pédagogique. Nous l'avons ainsi faite entrer à l'école telle qu'elle, en présentant aux élèves les arguments des acteurs tels qu'ils figuraient dans des documents directement issus de l'espace social où se déploie la controverse.

Finalement, il nous semble qu'actuellement dans le paysage des recherches sur les questions socioscientifiques, le choix de cadrage que nous avons retenu pour notre recherche est assez singulier. Documenter comment les élèves comprennent ce qui se joue au travers de controverses interrogeant l'activité technoscientifique globalement, sur les plans politique, économique et social, comme c'est le cas pour les nanotechnologies nous semble essentiel. De plus, sans que cela ne retire rien à l'intérêt des recherches sur des situations hypothétiques, proposer aux élèves de se confronter aux arguments réels des acteurs participant effectivement à la controverse, nous semble un point important dans la formation des citoyens. L'examen des questions socioscientifiques en classe nous semble ainsi avoir un rôle majeur à jouer pour *éclairer* le fonctionnement des technosciences en société et les enjeux socio-politiques de leurs développements, afin de permettre aux élèves de s'en emparer plus tard, au cours de leur vie d'adulte.

Chapitre 11

Quelques pistes de recherches pour prolonger la réflexion

Nous allons enfin refermer ce manuscrit en pointant quelques pistes de recherches dont l'exploration nous semblerait pertinente pour prolonger le travail de recherche que nous avons mené tout au long de notre thèse.

11.1 Prolonger le travail empirique mené dans cette thèse

D'abord plusieurs pistes peuvent être poursuivies pour prolonger les travaux relatés dans ce manuscrit.

Comme nous l'avons détaillé plus haut, la première consisterait à procéder à un nouveau cycle de raffinement des activités de la séquence pédagogique, de mise en œuvre des séances en classe et d'analyse des productions des élèves, de manière à apporter des éléments de réponses à la question suivante : comment peut-on, au travers d'un dispositif pédagogique, permettre à des élèves à aller au delà des discours proches de ceux de l'innovation responsable ?

La seconde direction de recherche qui pourrait valoir la peine d'être investiguée étudierait la réappropriation par des enseignants de la séquence pédagogique que nous avons construite. Il nous semble ainsi capital d'étudier comment le travail réalisé suivant dans cette thèse suivant une perspective de recherche design-based se transforme lorsqu'il passe dans d'autres mains que celles qui l'ont façonné.

Ces pistes de recherches sont ancrées en éducation aux sciences.

D'autres voies nous semblent également à explorer, à l'interface entre études sociales sur les sciences et études sur l'éducation aux sciences. Elles concernent des réflexions à un niveau "plus macro" sur les acteurs de l'éducation aux sciences et les logiques qui président à la construction de dispositifs éducatifs sur les nanotechnologies.

11.2 Les nanotechnologies dans l'enseignement secondaire : quelles initiatives pour quelles politiques éducatives et technoscientifques sous-jacentes ?

Une direction de recherche qui nous semble à creuser davantage consisterait à documenter comment sont pensées les initiatives pour introduire les nanotechnologies dans l'enseignement secondaire. Nous avons déjà ébauché dans notre revue de littérature quelques pistes de réponse. Il nous semble qu'il serait intéressant de mieux comprendre comment certains acteurs comme par exemple la NSF aux États-Unis orientent et permettent l'introduction des nanotechnologies dans l'enseignement secondaire.

Il nous semblerait ainsi pertinent de démêler quelles sont et ont été leurs motivations ?

Quelles ont été les stratégies déployées par ces acteurs pour rendre cette introduction effective ?

Quelles ont été les réalisations mises en place et quelles questions cela pose au regard des enjeux des développements des nanosciences et des nanotechnologies ?

Comment ces réalisations en éducation s'intègrent-elles plus largement au programme global de développement des nanosciences et des nanotechnologies ?

Les efforts de recherche en éducation autour des nanotechnologies pourraient aussi être spécifiquement interrogés. Ainsi peut-on parler de structuration d'un champ de recherche en éducation autour de l'enseignement des nanosciences et des nanotechnologies ou bien est-ce une dynamique qui s'est essoufflée ? Pourquoi ?

Comment les acteurs dans le monde ailleurs que sur le territoire américain ont-ils pris et prennent-ils en compte les initiatives pour introduire les "nanos" dans l'enseignement secondaire ou universitaire déployées aux États-Unis ? S'en démarquent-ils ? Se calquent-ils sur le(s) modèle(s) américains ? Subissent-ils d'autres influences ?

L'introduction dans l'enseignement des nanosciences et des nanotechnologies nous semble de plus arriver dans contexte particulier marqué par un mouvement de "globalisation [1]" aussi bien des sciences que des questions éducatives. Les questions posées par la prise en charge des nanotechnologies par l'enseignement secondaire émergent en effet dans un contexte marqué :

- au niveau scientifique par une compétition scientifique et économique mondialisée pour le développement des nanotechnologies,

- au niveau éducatif, par des comparaisons internationales entre les systèmes éducatifs, mais aussi, par des réflexions sur l'acquisition d'une culture scientifique adaptée aux grands enjeux contemporains de nos sociétés mondialisées tels que le discutent par exemple Choi *et al.* (2011) qui ont travaillé sur la re-structuration du curriculum scientifique sud-coréen afin de mieux répondre aux "grands enjeux du XXIème" siècle et qui intègrent les "Big Ideas of nanoscale science et engineering"(Stevens *et al.*, 2009b) à leurs propositions.

Il nous semblerait par conséquent intéressant de questionner dans quelle mesure ces différents éléments de contexte pèsent sur l'introduction dans l'enseignement des nanotechnologies. Créent-elles une sorte tension entre d'une part les injonctions de performance pour que les pays tirent leur épingle du jeu dans la compétition internationale et d'autre part les injonctions à former des citoyens éclairés, capables de comprendre les débats socioscientifiques dont la portée peut-être individuelle, locale, étatique ou mondiale et d'agir pour le bien commun ?

11.3 Nano@school : "*comment les acteurs s'arrangent avec l'incertitude ?*"

Enfin, si l'analyse de la construction des programmes éducatifs sur les nanotechnologies à l'échelle des politiques nationales et internationales nous semble digne d'intérêt, le processus d'élaboration de dispositifs éducatifs à une échelle locale nous semble également à étudier. Ainsi, il nous semble que cela vaudrait la peine d'étudier les ateliers Nano@school mis en place à Grenoble et auxquels nous sommes liés par notre travail empirique.

Dans notre thèse, pour tenter de conserver un positionnement clair vis-à-vis de ces ateliers dont la mise sur pied vise des objectifs qui peuvent être différents des nôtres, nous n'avons pas placé ces ateliers au cœur de notre recherche. Nous avons relaté leur existence et décrit les linéaments de leur contenu. Toutefois, ce dispositif pourrait faire l'objet d'une étude plus approfondie.

D'abord, l'organisation de ces ateliers accueillant des scolaires sur des plateformes dédiée à l'enseignement est innovante. C'est en tout cas ce que mettent en avant les concepteurs

1. Nous mettons le terme "globalisation" entre guillemets puisqu'il renvoie à un objet d'étude en tant que tel que nous n'avons pas eu le temps ici d'explorer.

de ces ateliers.[2] Un premier niveau d'étude de ce dispositif consisterait à procéder à une analyse didactique des ateliers. On pourrait imaginer réaliser une analyse des enjeux éducatifs assignés à ce dispositif par les enseignants inscrivant leur classe à Nano@school. On pourrait suivre ce qu'ils en font avec leurs élèves. On pourrait s'interroger sur les retombées de ces ateliers en termes d'apprentissages, sur la vision des nanotechnologies et sur les discours sur le développement des nanotechnologies véhiculés au travers de cette visite au CIME.

Toutefois une autre piste nous semblerait aussi particulièrement intéressante à explorer. Elle consisterait à interroger comment une convergence d'intérêts a permis de mettre en place Nano@school et à identifier les tensions entre les objectifs des uns et des autres, qu'ils soient chercheurs concepteurs de ces ateliers, simples intervenants encadrant ponctuellement les élèves, enseignants, inspecteurs d'académie....

L'objectif serait donc de questionner le processus qui a conduit à sa mise sur pied, en prenant en compte les particularités du contexte grenoblois.

Qui sont les acteurs qui ont contribué à mettre place ce dispositif ?

Pour quelles raisons ont-ils pris part initialement à ce projet ?

Comment ce projet s'inscrit dans la construction des nanosciences et des nanotechnologies à Grenoble ?

Comment ont été transformées les intentions et les motivations des différents acteurs contribuant à la réalisation de ce projet Nano@school au fil de la construction du dispositif ?

Quels ont été les compromis réalisés par ces acteurs ?

Comment le projet a-t-il lui même évolué ?

Pour réaliser cette étude, on pourrait d'ailleurs prendre appui sur les questions soulevées dans l'ouvrage dirigé par Chalas, Vinck et Gilbert (2009) intitulé "comment les acteurs s'arrangent avec l'incertitude". Nano@school nous semble en effet une façon de canaliser au moins trois incertitudes :

- Une incertitude sur ce que sont les nanotechnologies. Il faudrait alors caractériser comment le discours tenus aux élèves et aux enseignants contribuent (ou pas) à naturaliser une vision grenobloise des nanotechnologies.
- Une incertitude sur la manière de faire participer les citoyens à leurs développements. Il s'agirait d'une part d'identifier comment les artisans des ateliers Nano@school s'arrangent avec les incertitudes sur la manière de construire un "dialogue avec le public" voulu par certains promoteurs du développement nanotechnologies ;
- Une incertitude éducative enfin, sur la manière d'introduire les nanotechnologies à des lycéens mais aussi sur les finalités de cet enseignement. La demande institutionnelle formulée au travers des programmes recommande ainsi par exemple aux enseignants, au travers d'un thème présenté comme un "espace de liberté pour le professeur", d'amener les élèves de premières S à :
  - "comprendre les interactions entre la science et la société",
  - "communiquer sur la science" ,
  - et à " recueillir et exploiter des informations sur l'actualité scientifique et technologique, sur des métiers ou des formations scientifiques et techniques en lien avec des ressources locales"[3].

  Il pourrait par conséquent être intéressant de sonder comment les acteurs Nano@school, mais aussi les enseignants participants à ces ateliers s'emparent de cette incertitude éducative en fonction de leur motivations, de leurs intérêts et de leurs visions du monde.

2. Ce fut par exemple le cas lors de la réunion faisant le bilan des actions annuelles en juin 2012.
3. Source : BO de spécial n°9 du 30 septembre 2010, consultable en ligne à l'adresse : http ://www.education.gouv.fr/cid53327/mene1019556a.html (consulté le 12/12/12)

Chapitre 12

Conclusion générale

Ce manuscrit touche a sa fin. Il est temps de ramasser en quelques lignes les résultats forts que nous défendons au terme de ce processus de recherche.

Notre thèse s'intéresse à la façon dont des lycéens peuvent comprendre les controverses soulevées par les nanotechnologies ainsi qu'à la prise de distance dont ils font preuve face aux discours portés par différents acteurs de la controverse.

Pour cela, nous avons construit une séquence pédagogique élaborée suivant les principes des recherches *design-based (The Design-Based Research Collective, 2003)* qui préconisent de procéder par cycles continus de conception d'environnements d'apprentissage, de leur mise en œuvre en classe puis d'analyse.

Nous nous sommes également appuyés sur le modèle de scolarisation des controverses socioscientifiques proposé par Albe (2007) et plus particulièrement sur la dimension épistémologique de cette construction. Albe met en effet en avant l'importance de tenir compte de la diversité des références pour l'étude en classe d'une controverse. Par conséquent, pour éclairer nos choix éducatifs nous avons réalisé une analyse épistémologique et sociologique des controverses soulevées par les nanotechnologies préalable à la construction et l'analyse d'activités proposées à des lycéens.

Cette analyse réalisée à partir des cahiers d'acteurs du débat public français sur les nanotechnologies de 2009-2010 nous a permis de mettre en lumière que ce qui est remis en cause au travers des nanosciences et des nanotechnologies, ça n'est pas seulement les productions de ce programme de recherche et leurs effets. Ce qui est questionné, c'est aussi le mode de fonctionnement de l'activité scientifique et technologique qui sous-tend ces développements.

Le premier choix fort que nous défendons donc dans ce manuscrit est relatif à la focale retenue pour examiner la controverse "nano" avec des lycéens. Dans une perspective d'éducation aux sciences qui outille intellectuellement les futurs citoyens pour s'emparer de questions socioscientifiques, il nous semble que, pour permettre à des élèves de comprendre ce que sont les nanosciences et les nanotechnologies et pour leur laisser la possibilité de se forger une opinion sur le développement de ces technosciences, il est indispensable de leur donner à voir les controverses soulevées par les nanotechnologies telles qu'elles existent en société. Pas d'édulcoration, pas de simplification. Seule une prise en compte de toutes les dimensions de la controverse, y compris des aspects politiques, sociaux et économiques nous semble de nature à permettre à des lycéens de saisir la vivacité et la profondeur des interrogations posées par les développements des nanotechnologies. Par rapport aux travaux de recherche en éducation menés dans le mouvement des questions socioscientifiques, notre travail est ainsi assez singulier.

La séquence pédagogique que nous avons proposée aux élèves leur permet de s'intéresser à la controverse dans la forme qu'elle prend effectivement en société et pour cela, nous nous sommes s'appuyé sur les savoirs-faire que les élèves mobilisent d'ordinaire dans les matières

dites “littéraires”. De plus, les activités que nous avons conçues (un jeu de rôle, une recherche documentaire, et une séance de synthèse conduisant à la production d’un cahier d’acteur de la classe et à la rédaction de questions pour un scientifique venant au lycée pour parler à toutes les premières S de l’établissement de nanotechnologies) confrontent les élèves à des documents directement issus de l’espace social, documents élaborés par les acteurs participant effectivement en France à la controverse soulevée par les nanotechnologies. Elles visent ainsi à leur permettre de s’emparer de l’objet “nanotechnologies” tel qu’il existe en société, tout en leur permettant de se forger un premier avis sur les questionnements que ces développements soulèvent.

L’analyse des productions des élèves réalisées au travers de ces différentes activités a été menée sous deux angles.

D’une part, nous avons utilisé le modèle de scolarisation des controverses socioscientifiques d’Albe (2007) et nous avons caractérisé la compréhension collective que les élèves avaient de la controverse essentiellement en nous intéressant aux savoirs qu’ils mobilisaient dans leurs interventions orales ou bien dans leurs écrits.

D’autre part, nous avons caractérisé leur prise de distance par rapport aux discours qu’ils rencontraient dans les trois activités. D’abord nous avons traqué la présence d’argumentations fallacieuses dans leurs prises de paroles lors de la séance articulée autour du jeu de rôle. Pour cette analyse nous nous sommes appuyés sur les travaux de van Eemeren et Grootendorst (1996, 2004) sur l’approche pragma-dialectique de l’argumentation. Ensuite, lors de la recherche documentaire, nous avons analysé la manière dont ils évaluaient leurs sources. De plus nous avons confronté le contenu des productions orales et ´ecrites des ´élèves avec le contenu des documents qu’ils avaient sélectionnés pour cerner s’ils en interrogeaient le contenu de ces textes. Enfin nous avons analysé les questions qu’ils avaient préparées pour interroger un scientifique devant venir au lycée pour parler de nanotechnologies à tous les élèves de première S de l’établissement.

Ces analyses ont montré que des élèves de première S sont capables de comprendre des documents sur les nanotechnologies directement issus de l’espace social et produits par différents acteurs de la controverse.

L’étude des productions des élèves au fil de la séquence pédagogique a par ailleurs montré qu’en termes d’appropriation des différentes dimensions de la controverse, les élèves s’étaient emparés d’une diversité de thématique de questionnements.

Ils sont ainsi tombés d’accord pour reconnaître l’importance des questions de toxicité pour l’homme et l’environnement posées par l’utilisation des nanoparticules et des nanomatériaux mais aussi pour souligner l’importance des questions de protection des libertés. Les élèves sont toutefois, pour la plupart, demeurés assez généraux lorsqu’ils discutaient de la manière de gérer les incertitudes sur la dangerosité des nanoproduits.

Les utilisations en médecine des nanotechnologies ont elles aussi capté l’attention de plusieurs élèves au travers des différentes activités. Souvent, ils considéraient ces utilisations dans le domaine de la santé comme “bénéfiques”. Les questionnements suscités par ces développements en médecine et en particulier par ceux liés aux projets d’améliorations de l’humain ont reçu une attention variable au cours des différentes activités. Ils ont ainsi occasionné des prises de position contradictoires lors de la séance de jeu de rôle mais n’ont pas été repris par la suite, lors des autres activités.

Notre analyse des controverse avait en outre mis en évidence que certains acteurs questionnaient la manière dont le programme de développement des nanosciences et des nanotechnologies était mis en œuvre en société. En particulier des associations “citoyennes”, s’intéressent à la manière dont il est possible de permettre une réelle participation des citoyens dans les choix d’orientations scientifiques et technologiques. L’analyse des différentes productions des élèves

montrent qu'ils semblent, au premier abord, regarder cette dimension des débats comme un peu secondaire par rapport aux questionnements sur ce que les nanotechnologies "vont apporter". Les élèves s'emparent néanmoins de certains thèmes liés à la gestion du développement des nanotechnologies en démocratie, essentiellement en affirmant que les citoyens sont tous concernés, qu'ils doivent être informés et, pour quelques-uns, en pointant l'importance de prendre en compte "l'avis des citoyens".

Enfin, les enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies n'ont pas vraiment été discutés autrement qu'en répercutant des discours vantant les perspectives ouvertes en matière d'économie, d'emploi et de mise au point de nouveaux biens de consommation. Ainsi les interrogations sur le droit de propriété intellectuelle, la compétition économique qui sous-tend le développement des nanosciences et des nanotechnologies ou les dénonciations d'un technoscientisme ambiant n'ont pas été approfondies par les élèves.

Les élèves se sont donc emparés d'une diversité d'aspects de la controverse. Cependant, lorsque les élèves devaient formuler leur opinion, il nous semble qu'une sorte de consensus avait tendance à se dégager autour d'un discours vague affirmant l'importance de développer les nanotechnologies mais aussi de "prendre en compte les risques". Nous ne disposons de plus que de peu d'indices permettant de laisser penser que les élèves connecteraient l'identité, le rôle et les intérêts des acteurs défendant certaines prises de positions avec les affirmations et les arguments échangés dans les débats.

En matière de prise de distance des élèves par rapport aux discours rencontrés, nous avons mis en évidence que convenablement cadré, le jeu de rôle donnait lieu à des discussions de qualité où les élèves n'avaient utilisé qu'exceptionnellement des arguments fallacieux. Par ailleurs, nous avons montré essentiellement au travers de l'analyse des questions destinées au physicien invité au lycée, que les élèves étaient capables d'être critiques face à certains discours tenus sur les nanotechnologies et en particulier face aux discours qu'ils regardaient comme des discours de communication voire d'acceptabilité.

Ainsi la thèse que nous défendons au terme de ce travail empirique est qu'il est possible, en s'appuyant sur l'expertise des élèves développée dans les matières dites "littéraires" et sur des activités adaptées, d'amener des lycéens à s'emparer à leur niveau de la controverse soulevée par les nanotechnologies. Ils sont capables pour certains de prendre de la distance et de questionner certains discours portés sur les nanotechnologies, en particulier les discours qu'ils perçoivent comme des discours d'acceptabilité.

Les élèves avec qui nous avons travaillé nous semblent cependant avoir eu des difficultés à dépasser un discours vague et consensuel ressemblant à celui qui, dans l'espace public, est qualifié par Laurent (2010) de discours "de l'innovation responsable". Ce discours flou stipule à gros traits que le développement des nanosciences et des nanotechnologies est "bénéfique", mais qu'il existe des "risques à prendre compte", et qu'il faut informer "le public".

Du point de vue de la recherche en éducation aux sciences, il nous semble qu'il y a ici quelque chose à explorer. Renforcer ce genre de discours nous semble en effet problématique car la traduction politique des discours de l'innovation responsable nous semble un frein voire un obstacle à une réelle appropriation citoyenne des choix scientifiques et technologiques en matière de nanotechnologies.

Comment alors amener des élèves de lycée à aller au delà de ce type de positionnement général ?

Est-il possible de les amener à complexifier leur compréhension des nanotechnologies ?

Comment peut-on les amener à mieux identifier les principaux protagonistes de la controverse et leurs intérêts, et comment les élèves considèrent-ils ces différents acteurs ?

Quelle est l'influence d'une identification claire des acteurs de la controverse et de leur positionnement dans les débats, sur la manière dont les élèves formulent leur opinion ?

D'autres questions surgissent aussi, relatives à la construction pédagogique que nous avons produite en nous appuyant sur les principes des recherches *design-based*. Pour n'en citer qu'une, on pourrait se demander si l'utilisation d'une approche de recherche *design-based* a effectivement fourni des outils permettant une réelle ré-utilisation des résultats de la recherche en éducation par les enseignants sur le terrain.

Les interrogations sont donc nombreuses au moment de conclure ce manuscrit. Elles nous semblent pointer autant de directions d'investigation que la recherche en éducation aux sciences sur les questions socioscientifiques pourrait avoir intérêt à défricher.

Bibliographie

Albe, V. (2007). Des controverses scientifiques socialement vives en éducation aux sciences : état des recherches et perspectives. Mémoire de synthèse pour l'Habilitation à Diriger des Recherches. 401 pages.

Albe, V. (2008a). L'enseignement de controverses socioscientifiques. Quels enjeux sociaux, éducatifs et théoriques ? quelles mises en formes scolaires ? *Education et Didactique*, 3 (1):1–32.

Albe, V. (2008b). Pour une éducation aux sciences citoyenne. une analyse sociale et épistémologique des controverses sur les changements climatiques. *Aster*, 46:45–70.

Albe, V. (2008c). When scientific knowledge, daily life experience, epistemological and social considerations intersect : Students' argumentation in group discussions on a socio-scientific issue. *Research in Science Education*, 38:67–90.

Albe, V. (2011). Finalités socio-éducatives de la culture scientifiques. *Revue Française de Pédagogie*, 174:119–138.

Albe, V. et Bouras, A. (2010). Connaissances épistémologiques et construction d'une opinion documentée et raisonnée sur les nanotechnologies. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 1:171–196.

Albe, V. et Ruel, F. (2008). Des enseignements de sciences dans une perspective d'éducation citoyenne ? *Didaskalia*, 33:121–140.

American Association for the Advancement of Science (1993). *Benchmarks for science literacy.* New York : Oxford University Press.

Anscombres, J.-C. et Ducrot, O. (1983). *L'argumentation dans la langue.* Bruxelles : Pierre Mardaga, Éditeur.

Azam, G. (2008). Les droits de propriété sur le vivant. Développement durable et territoires [En ligne] ; Dossier 10 : Biens communs et propriété. http ://developpementdurable.revues.org/.

Bader, B. (2001). *Étude de conversations estudiantines autour d'une controverse entre scientifiques sur la question du réchauffement climatiques.* Thèse de doctorat, Université de Laval.

Bader, B. (2003). Interprétation d'une controverse scientifique : stratégies argumentatives d'adolescentes et d'adolescents québécois. *Revue Canadienne de l'enseignement des siences, des mathématiques et des technologies*, 3:230–251.

Barab, S. et Squire, K. (2004). Design-based research : Putting a stake in the ground. *The Journal of the Learning Sciences*, 13:1–14.

Beck, U. (1986). *Risikogesellschaft.* Francfort : Suhrkamp Verlag.

Bensaude-Vincent, B. (2004). *Se libérer de la matière ? Fantasmes autour des nouvelles technologies.* Paris : INRA.

Bensaude-Vincent, B. (2009). *Les vertiges de la technoscience.* Paris : La découverte.

Bentham, J. (1824). *The Book of Fallacies. In the Works of Jeremy Bentham, published by J. Bowring (1962).* New York : Russell and Russell (vol. 2).

Berne, R. W. (2008). *Nanoscale Science and Engineering Education*, chapitre Content and Pedagogy for Ethics Education in Nanoscale Science and Technology Development, pages 547–566. Valencia CA : American Scientific Publishers.

Blonder, R. (2010). The influence of a teaching model in nanotechnology on chemistry teachers' knowledge and their teaching attitudes. *Journal of Nano Education*, 2:67–75.

Blonder, R. et Dinur, M. (2011). Teaching nanotechnology using student-centered pedagogy for increasing students' continuing motivation. *Journal of Nano Education*, 3:51–61.

Bonneuil, C. (2006). Dossier engagement public des chercheurs cultures épistémiques et engagement public des chercheurs dans la controverse ogm. *Nature Sciences Sociétés*, 14: 257–268.

Bridges, D. (1979). *Education, democracy and discussion.* Slough, UK : NFER Publishing Company.

Bronckart, J. (1996). *Activité langagière, textes et discours. Pour un interactionisme socio-discursif.* Paris : Delachaux & Niestlé.

Bru, M. (1991). *Les variations didactiques dans l'organisation des conditions d'apprentissage.* Toulouse : Éditions Universitaires Du Sud.

Bryan, L., Daly, S., Hutchinson, K., Sederberg, D., Benaissa, F. et Giordano, N. (2007). A design-based approach to the professional development of teachers in nanoscale science. *In Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, New Orleans.*

Burbules, N. et Rice, S. (1991). Dialogue across differences : Continuing the conversation. *Harvard Educational Review*, 61:393–416.

Callon, M., Lascoumes, P. et Barthe, Y. (2001). *Agir dans un monde incertain. essai sur la democratie technique.* Paris : Seuil.

Chalas, Y., Gilbert, C. et Vinck, D. (2009). *Comment les acteurs s'arrangent avec l'incertitude.* Paris : Éditions des archives contemporaines.

Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné.* Grenoble : la pensée sauvage (1ère édition, 1985).

Chevallard, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherche en didactique des mathématiques*, 12:73–112.

Chevallard, Y. et Mercier, A. (1987). *Sur la formation historique du temps didactique.* Marseille : IREM de Marseille.

Choi, K., Lee, H., Shin, N., Kim, S.-W. et Krajcik, J. (2011). Re-conceptualization of scientific literacy in South Korea for the 21st century. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(6):670–697.

Cobb, P., Confrey, J., di Sessa, A., Lehrer, R. et Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational Researcher*, 32:9–13.

Collins, A., Joseph, D. et Bielaczyc, K. (2004). Design research : Theoretical and methodological issues. *The Journal of the Learning Sciences*, 13:15–42.

Daly, S. et Bryan, L. (2007). Models of nanoscale phenomena as tools for engineering design and science inquiry. *In Proceedings of the American Society for Engineering Education.*

Daly, S. et Bryan, L. A. (2010). Model use choices of secondary teachers in nanoscale science and engineering education. *Journal of Nano Education*, 2:76–90.

Daly, S., Hutchinson, K. et Bryan, L. (2007). Incorporating nanoscale science and engineering concepts into middle and high school curricula. *In Proceedings of the American Society for Engineering Education.*

Davis, E. A. et Krajcik, J. S. (2005). Designing educative curriculum materials to promote teacher learning. *Educational Researcher*, 34:3–14.

Delgado, C., Stevens, S., Shin, N., Yunker, M. et Krajcik, J. (2007). The development of students' conceptions of size. *In Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching.*

di Sessa, A. A. et Cobb, P. (2004). Ontological innovation and the role of theory in design experiments. *The Journal of the Learning Sciences*, 13:77–103.

Dori, Y. J., Tal, R. et Tsaushu, M. (2003). Teaching biotechnology through case studies : Can we improve higher-order thinking skills of non-science majors ? *Science Education*, 87:767–793.

Douglas, M. (1992). *Risk and Blame : Essays in cultural theory.* London : Éditions Routledge.

Driver, R., Leach, J., Millar, R. et Scott, P. (1996). *Young people's image of science.* Buckingham : Open University Press.

Driver, R., Newton, P. et Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84:287–312.

Dupuy, J.-P. (2004). Quand les technologies convergeront. *Revue du MAUSS*, 23:408–417.

Duschl, R. A. (2007). *Argumentation in Science Education*, chapitre Quality argumentation and epistemic criteria, pages 159–175. Dordrecht : Springer Netherlands.

Erduran, S., Simon, S. et Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation : Developments in the application of toulmin's argument pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88:915–933.

Fillon, P. et Peterfalvi, B. (2009). *Argumenter en classe de sciences*, chapitre Argumentation, ambiguïtés et négociations des significations en classe de sciences, pages 331–360. Lyon : INRP.

Foley, E. et Hersam, M. (2006). Assessing the need for nanotechnology education reform in the united states. *Nanotechnology Law and Business*, 3:467–484.

Gardner, G., Jones, G., Taylor, A., Forrester, J. et Robertson, L. (2010). Students' risk perceptions of nanotechnology applications : Implications for science education. *International Journal of Science Education*, 32(14):1951–1969.

Goodwin, J. (2000). Comments on 'rhetoric and dialectic form the standpoint of normative pragmatics'. *Argumentation*, 14(3):287–292.

Grace, M. (2009). Developing high quality decision-making discussions about biological conservation in a normal classroom setting. *International Journal of Science Education*, 31:551–570.

Grace, M. et Ratcliffe, M. (2002). The science and values that young people drew upon to make decisions about biological conservation issues. *International Journal of Science Education*, 24:1157–1169.

Grize, J.-B. (1982). *Logique et langage*. Gap : Orphys.

Grize, J.-B. (1996). *Logique naturelle et comunication*. Paris : PUF.

Harmer, A. J. et Columba, L. (2010). Engaging middle school students in nanoscale science, nanotechnology, and electron microscopy. *Journal of Nano Education*, 2:91–101.

Harris, R. et Ratcliffe, M. (2005). Socio-scientific issues and the quality of exploratory talk - what can be learned from schools involved in a 'collapsed day' project ? *Curriculum Journal*, 16:439–453.

Healy, N. (2009). Why nanoeducation ? *Journal of Nano Education*, 1:6–7.

Hingant, B. et Albe, V. (2010). Nanosciences and nanotechnologies learning and teaching in secondary education : a review of literature. *Studies in Science Education*, 46:121–152.

Hogan, K. (2002a). Small groups' ecological reasoning while making an environmental management decision. *Journal of Research in Science Teaching*, 39:341–368.

Hogan, K. (2002b). A socio-cultural analysis of school and community settings as sites for developing environmental practitioners. *Environmental Education Research*, 8:413–437.

Hutchinson, K., Bryan, L. et Bodner, G. (2009). Supporting secondary teachers as they implement new science and engineering curricula : case examples from nanoscale science and engineering education. *In Proceedings of the American Society for Engineering Education*.

Jacobs, S. (2000). Rhetoric and dialectic from the standpoint of normative pragmatics. *Argumentation*, 14(3):261–286.

Jiménez-Aleixandre, M. P. et Erduran, S. (2007). *Argumentation in science education : Perspectives from classroom-based research*, chapitre Argumentation in Science Education : An Overview, pages 3–27. Dordrecht : Springer Netherlands.

Jiménez-Aleixandre, M. P. et Pereiro-Muñoz, C. (2002). Knowledge producers or knowledge consumers ? argumentation and decision making about environnemental management. *International Journal of Science Education*, 24:1171–1190.

Jiménez-Aleixandre, M. P., Rodríguez, A. et Duschl, R. (2000). "doing the lesson" or "doing science" : Argument in highschool genetics. *Science Education*, 84:757–792.

Joly, P.-B., Callon, M., Dianoux, L., Fourniau, J.-M., Gilbert, C., Hermitte, M.-A., Joseph, C., Kaufmann, A., Larrère, R., Neubauer, C. et Schaer, R. (2005). Démocratie locale et maîtrise sociale des nanotechnologies, les publics grenoblois peuvent-ils participer aux choix scientifiques et techniques ? Rapport technique, Rapport de la Mission pour La Métro.

Jones, M., Taylor, A., Minogue, J., Broadwell, B., Wiebe, E. et Carter, G. (2007a). Understanding scale : Powers of ten. *Journal of Science Education and Technology*, 16:191–202.

Jones, M., Tretter, T., Paechter, M., Kubasko, D.and Bokinsky, A. et Andre, T. (2007b). Differences in african-american and european-american students' engagment with nanotechnology experiences : perceptual position or assessment artifact. *Journal of Research in Science Teaching*, 44:787–799.

Jones, M., Tretter, T., Taylor, A. et Opperwal, T. (2008). Experienced and novice teachers' concepts of spatial scale. *International Journal of Science Education*, 30:409–429.

Jones, M. G., Andre, T., Kubasko, D., Bokinsky, A., Tretter, T., Negishi, A., Taylor, R. et Superfine, T. (2004). Remote atomic force microscopy of microscopic organisms : Technological innovations for hands-on science with middle and high school students. *Science Education*, 88:55–71.

Jones, M. G., Andre, T., Superfine, T. et Taylor, R. (2003). Learning at the nanoscale : The impact of students' use of remote microscopy on concepts of viruses, scale, and microscopy. *Journal of Research in Science Teaching*, 40:303–322.

Jones, M. G., Minogue, J., Tretter, T., Negishi, A. et Taylor, R. (2006). Haptic augmentation of science instruction : Does touch matter ? *Science Education*, 90:111–123.

Jones, M. G., Paechter, M., Yen, C.-F., Gardner, G., Taylor, A. et Tretter, T. (2012). Teachers' concepts of spatial scale : An international comparison. *International Journal of Science Education*, (in press).

Jones, M. G. et Taylor, A. R. (2009). Developing a sense of scale : Looking backward. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(4):460–475.

Kähkönen, A.-L., Laherto, A. et Lindell, A. (2011). Intrinsic and extrinsic barriers to teaching nanoscale science : Finnish teachers' perspectives. *Journal of Nano Education*, 3:1–12.

Kaya, O. N., Yager, R. et Dogan, A. (2009). Changes in attitudes towards science-technology-society of pre-service science teachers. *Research in Science Education*, 39:257–279.

Khishfe, R. et Lederman, N. (2006). Teaching nature of science within a controversial topic : Integrated versus non-integrated. *Journal of Research in Science Teaching*, 43:395–418.

Kolstø, S. D. (2001a). Scientific literacy for citizenship : Tools for dealing with the science dimension of controversial socioscientific issues. *Science Education*, 85:291–310.

Kolstø, S. D. (2001b). 'To trust or not to trust, ...' - pupils' ways of judging information encountered in a socio-scientific issue. *International Journal of Science Education*, 23:877–901.

Kortland, K. (1996). An STS case study about students' decision making on the waste issues. *Science Education*, 80:673–689.

Kubasko, D., Jones, M. G., Tretter, T. et Andre, T. (2008). Is it live or is it memorex ? students' synchronous and asynchronous communication with scientists. *International Journal of Science Education*, 30(4):495–514.

Kuhn, D. (1991). *The skills of argument.* Cambridge : Cambridge University Press.

Lan, Y.-L. (2012). Development of an attitude scale to assess K-12 teachers' attitudes toward nanotechnology. *International Journal of Science Education*, 34(8):1189–1210.

Larochelle, M. et Désautels, J. (2001). Les enjeux socioéthiques des désaccords entre scientifiques : un aperçu de la construction discursives d'étudiants et étudiantes. *La revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, 1:39–60.

Larochelle, M. et Désautels, J. (2006). *L'école à l'épreuve de l'actualité*, chapitre L'éducation aux sciences et le croisement des expertises, pages 61–77. Paris : ESF éditeur.

Latour, B. (1984). *Pasteur : Guerre et paix des microbes.* Paris : La découverte (anciennement publié aux Éditions Métailié).

Laugksch, R. (2000). Scientific literacy : A conceptual overview. *Science Education*, 84:71–94.

Laurent, B. (2007). Diverging convergences. *Innovation : The European Journal of Social Science Research*, 20(4):343–356.

Laurent, B. (2010). *Les politiques des nanotechnologies. Pour un traitement démocratique d'une science émergente.* Paris : Editions Charles Léopold Mayer.

Lee, H., Abd-El-Khalick, F. et Choi, K. (2006). Korean science teachers' perceptions of the introduction of socio-scientific issues into the science curriculum. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 6(2):97–117.

Lee, M.-K. et Erdogan, I. (2007). The effect of science-technology-society teaching on students' attitudes toward science and certain aspects of creativity. *International Journal of Science Education*, 11:1315–1327.

Legardez, A. (2004). Transposition didactique et rapports aux savoirs : l'exemple des enseignements de questions économiques et sociales, socialement vives. *Revue Française de Pédagogie*, 149:19–27.

Legardez, A. (2006). *L'École a l'épreuve de l'actualité. Enseigner les questions vives*, chapitre Enseigner des questions socialement vives. Quelques points de repères., pages 19–31. Paris : ESF.

Levinson, R. (2004). Teaching bioethics in science : Crossing a bridge too far ? *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 4(3):353–369.

Levinson, R. (2006). Towards a theoretical framework for teaching controversial socio-scientific issues. *International Journal of Science Education*, 28:1201–1224.

Lewenstein, B. (2005). What counts as a 'social and ethical issue' in nanotechnology ? *International journal for philosophy of chemistry*, 11:5–18.

Lewis, J., Leach, J. et Wood-Robinson, C. (1999). *Les biotechnologies à l'école*, chapitre Attitude des jeunes face à la technologie génétique, pages 65–95. Dijon : Educagri éditions.

Liéval, C. (2009). *Comment les acteurs s'arrangent avec l'incertitude ?*, chapitre Nanotechnologies et développement territorial. Les réponses locales à l'incertitude signent-elles un regain de la pensée aménagiste moderniste ?, pages 59–75. Paris : Éditions des archives contemporaines.

Liu, J. (2007). *Nanotechnologies, Ethics and Politics*, chapitre Nanotechnology : The state of the art, pages 51–77. Paris : UNESCO.

Madden, A. S., Knefel, A. M., Grady, J. R., Glasson, G. E., Hochella, M. H., Eriksson, S., Bank, T. L., Cecil, K., Green, A. M., Hurst, A. N., Norris, M. et Schreiber, M. E. (2007). Nano2Earth : Incorporating cutting-edge research into secondary education through scientist-educator partnership. *Journal of Geoscience education*, 55:402–412.

Magana, A. J., Brophy, S. P. et Bryan, L. A. (2012). An integrated knowledge framework to characterize and scaffold size and scale cognition (FS2C). *International Journal of Science Education*, (in press).

Mercer, N. (1995). *The Guided Construction of Knowledge : Talks amongst teachers and learners*. Clevedon, England : Multilingual Matters.

Mitchener, C. P. et Anderson, R. D. (1989). Teachers' perspective : Developing and implementing an STS curriculum. *Journal of research in science teaching*, 26(4):351–369.

Molinatti, G. (2005). Préfiguration d'un protocole de débat lycéen sur des questions socio-scientifiques relatives au développement des neuroscience. éléments d'analyse. *In Communication aux 4 èmes journées de l'ARDIST, Lyon, 12-15 octobre 2005*.

Molinatti, G. (2007). *Médiation des sciences du cerveau : Approche didactique et communicationnelle de rencontres entre neuroscientifiques et lycéens*. Thèse de doctorat, Museum National d'Histoire Naturelle, Paris.

Molinatti, G., Girault, Y. et Hammond, C. (2010). High school students debate the use of embryonic stem cells : The influence of context on decision-making. *International Journal of Science Education*, 32:2235–2251.

Mork, S. M. (2005). *Exploring the digital learning materials at viten.no*. Thèse de doctorat, University of Oslo.

National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington D.C. : National Academy Press.

Nichol, C. A. et Hutchinson, J. S. (2010). Professional development for teachers in nanotechnology using distance learning technologies. *Journal of Nano Education*, 2:37–47.

Nielsen, J.-A. (2012a). Co-opting science : A preliminary study of how students invoke science in value-laden discussions. *International Journal of Science Education*, 34:275–299.

Nielsen, J.-A. (2012b). Dialectical features of students' argumentation : A critical review of argumentation studies in science education. *Research in Science Education*, In press.

Osborne, J., Erduran, S. et Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41:994–1020.

Panissal, N., Brossais, E. et Vieu, C. (2010). Les nanotechnologies au lycée, une ingénierie d'éducation citoyenne des sciences. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 1:319–338.

Patronis, T., Potari, D. et Spiliotopoulou, V. (1999). Students' argumentation in decision-making on a socio-scientific issue : Implication for teaching. *International Journal of Science Education*, 21:745–754.

Pedretti, E. (1999). Decision-making and STS education : Exploring scientific knowledge and social responsibility in schools and science centers through an issues-based approach. *School Science and Mathematics*, 99:174–181.

Pedretti, E. et Nazir, J. (2011). Currents in STSE education : Mapping a complex field, 40 years on. *Science Education*, 95:601–626.

Perelman, C. et Olbrecht-Tyteca, L. (1958). *Traité de l'argumentation. La nouvelle rhétorique.* Bruxelles : Éditions universitaires de Bruxelles.

Pestre, D. (1990). *Louis Néel. Le magnétisme et Grenoble. Récit de la création d'un empire physicien dans la province francaise 1940-1965. Cahiers pour l'histoire du CNRS, 8.* Paris : CNRS.

Pestre, D. (2003). *Science, argent et politique. Un essai d'interprétation.* Paris : INRA Editions.

Pestre, D. (2006). *Introduction aux Science Studies.* Paris : La découverte.

Planinšič, G. et Kovač, J. (2008). Nano goes to school : A teaching model of the atomic force microscope. *Physics Education*, 43:37–45.

Plantin, C. (1996). *L'argumentation.* Paris : Seuil.

Plantin, C. (2005). *L'argumentation - Histoire, théories, perspectives.* Paris : PUF.

Pouliot, C. (2008). Students' inventory of social actors concerned by the controversy surrounding cellular telephones : A case study. *Science Education*, 92:543–559.

Pouliot, C. (2010). Post-secondary students' relationship to people they consider to be scientific experts. *Research in Science Education*, 41 (2):225–243.

Ratcliffe, M. (1997). Pupil decision making about socio-scientific issues within the science curriculum. *International Journal of Science Education*, 19:167–182.

Roberts, D. A. (2007). *Handbook of research on science education*, chapitre Scientific literacy - science literacy, pages 729–780. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.

Roco, M. C. (2003). Converging science and technology at the nanoscale : Opportunities for education and training. *Nature Biotechnology*, 21:1247–1249.

Roth, W.-M. et Lee, S. (2004). Science education as/for participation in the community. *Science Education*, 88:263–291.

Royal Society and Royal Academy of Engineering (2004). *Nanoscience, Nanotechnology. Opportunities and Uncertainties.*

Sadler, T. (2009). Situated learning in science education : socio-scientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45:1–42.

Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues : A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41:513–536.

Sadler, T. D., Amirshokoohi, A., Kazempour, M. et Allspaw, K. M. (2006). Socioscience and ethics in science classrooms : Teacher perspectives and strategies. *Journal of Research in Science Teaching*, 43:353–376.

Sadler, T. D. et Donnelly, L. A. (2006). Socioscientific argumentation : The effects of content knowledge and morality. *International Journal of Science Education*, 28:1463–1488.

Sampson, V. et Clark, D. B. (2008). Assessment of the ways students generate arguments in science education : Current perspectives and recommendations for future directions. *Science Education*, 92:447–492.

Schank, P., Krajcik, J. et Yunker, M. (2007). *Nanoethics : The ethical and social implications of nanotechnology*, chapitre Can nanoscience be a catalyst for education reform ?, pages 277–289. Hobeken, NJ : Wiley Publishing.

Schweitzer, D. et Kelly, G. (2001). An investigation of student engagement in a global warming debate. *In Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching Saint Louis March 25-28.*

Sensevy, G., Mercier, A. et Schubauer-Leoni, M.-L. (2000). Vers un modèle de l'action didactique du professeur. à propos de la course à 20. *Recherche en didactique des mathématiques*, 20:263–304.

Simonneaux, L. (2001a). Role-play or debate to promote students' argumentation and justification on an issue in animal transgenesis. *International Journal of Science Education*, 23:903–928.

Simonneaux, L. (2001b). Des situations-débats pour développer l'argumentation des élèves sur les biotechnologies : compte-rendu d'innovation. *Didaskalia*, 19:127–158.

Simonneaux, L. (2003). L'argumentation dans les débats en classe sur une technoscience controversée. *Aster*, 37:189–214.

Simonneaux, L. et Albe, V. (2009). *L'argumentation en classe de sciences*, chapitre Types et domaines d'arguments utilisés dans des débats socio-scientifiques, pages 117–151. Lyon : INRP.

Simonneaux, L., Panissal, N. et Brossais, E. (2012). Students' perceptions of risk about nanotechnology after an SAQ teaching strategy. *International Journal of Science Education*, (Sous Presse).

Simonneaux, L. et Simonneaux, J. (2005). Argumentation sur des questions socio-scientifiques. *Didaskalia*, 27:79–108.

Soubeyran, O. (2007). *L'émergence des cosmopolitiques*, chapitre Pensée aménagiste et tautologies, pages 125–153. Paris : La découverte.

Stengers, I. (1997). *Sciences et pouvoirs.* Paris : La découverte.

Stevens, S., Delgado, C. et Krajcik, J. (2009a). Developing a hypothetical mutlidimensional learning progression for the nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 47:687–715.

Stevens, S., Shin, N., Delgado, C., Krajcik, J. et Pellegrino, J. (2007a). Using learning progressions to inform curriculum, instruction and assessment design. *In Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching.*

Stevens, S., Shin, N., Delgado, C., Yunker, M. et Krajcik, J. (2007b). Fostering students' understanding of interdiscinary science in summer science camp. *In Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching.*

Stevens, S., Sutherland, L. et Krajcik, J. (2009b). *The 'big ideas' of nanoscale science and engineering.* Arlington, VA : National Science Teacher Association press.

Sweeney, A. (2006). Social and ethical dimensions of nanoscale science and engineering research. *Science and Engineering Ethics*, 12:435–464.

Sweeney, A. (2009). Welcome to the journal of nano education. *Journal of Nano Education*, 1:1–5.

Tahan, C., Leung, R., Zenner, G., Ellison, K. D., Crone, W. et Miller, C. A. (2006). Nanotechnology and society : A discussion-based undergraduate course. *American Journal of Physics*, 74:443–448.

Tal, R. et Hochberg, N. (2003). Assessing high order thinking of students participating in the 'WISE' project in Israel. *Studies in Educational Evaluation*, 29:69–89.

Tal, T. et Kedmi, Y. (2006). Teaching socio-scientific issues : Classroom culture and students' performances. *Cultural Studies in Science*, 1:615–644.

Taylor, A. et Jones, M. (2009). Proportional reasoning ability and concepts of scale : Surface area to volume relationship in science. *International Journal of Science Education*, 31:1231–1247.

Taylor, A. R. et Jones, M. G. (2012). Students' and teachers' application of surface area to volume relationships. *Research in Science Education*, (In press).

The Design-Based Research Collective (2003). The design-based research : An emerging paradigm for education inquiry. *Educational Researcher*, 32:5–8.

Tomasik, J., Jin, S., Hamers, R. et Moore, J. (2009). Design and initial evaluation of an online nanoscience course for teachers. *Journal of Nano Education*, 1:48–69.

Toulmin, S. (1958). *The Uses of Arguments*. Cambridge : Cambridge University Press.

Toumey, C. et Baird, D. (2008). *Nanoscale Science and Engineering Education*, chapitre Nanoliteracy : Nurturing Understandings of Nanotechnology and Societal Interactions with Nanotech, pages 577–589. Valencia CA : American Scientific Publishers.

Tretter, T., Jones, M. G., Andre, T., Negishi, A. et Minogue, J. (2006a). Conceptual boundaries and distances : Students' and experts' concepts of the scale of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 43:282–319.

Tretter, T., Jones, M. G. et Minogue, J. (2006b). Accuracy of scale conceptions in science : Mental maneuverings across many orders of spatial magnitude. *Journal of Research in Science Teaching*, 43:1061–1085.

van Eemeren, F. et Grootendorst, R. (1996). *La nouvelle dialectique*. Paris : Éditions Kimé.

van Eemeren, F. et Houtlosser, P. (2007). The study of argumentation as normative pragmatics. *Pragmatics : Quaterly Publication of the International Pragmatics Association*, 15(1):161–177.

van Eemeren, F. H. et Grootendorst, R. (2004). *A systematic theory of argumentation*. Cambridge : Cambridge University Press.

Vinck, D. (2009). *Les nanotechnologies*. Paris : Le Cavalier Bleu.

Walker, K. A. et Zeidler, D. L. (2007). Promoting discourse about socioscientific issues through scaffolded inquiry. *International Journal of Science Education*, 29:1387–1410.

Yager, S., Lim, G. et Yager, R. (2006). The advantages of an STS approach over a typical textbook dominaed approach in middle school science. *School Science and Mathematics*, 106:248–260.

Zeidler, D. L., Sadler, T. D., Applebaum, S. et Callahan, B. (2009). Advancing reflective judgment through socio-scientific issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 46:74–101.

Zohar, A. et Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39:35–62.

Quatrième partie

Annexes

Chapitre 13

Consignes et documents de l'activité de jeu de rôle

Cette annexe rassemble dans l'ordre :

- la trame de la séance avec les consignes orales qui ont cadré la séance ;
- le diaporama présenté aux élèves lors de l'exposé des consignes ;
- les fiches distribuées aux élèves pour guider leur préparation du jeu de rôle puis de la discussions clôturant la séance ;
- un exposé des raisons qui ont motivé nos choix de cahiers d'acteur ;
- les différents cahiers d'acteurs qui ont été étudiés par les élèves ;
- les phrases résumant les points importants des cahiers d'acteur proposés par les différents groupes d'élèves.

13.1 Jeu de rôle sur les enjeux des développements des nanotechnologies

Place dans la séquence : Activité 1 (Avant Nano@school)	Durée totale : 4H

Finalité de l'activité pour les élèves	1. Avoir un premier aperçu de ce que peuvent être les nanosciences et nanotechnologies 2. Identifier qui peuvent être, en France, les différents acteurs intéressés par le développement des nanosciences et des nanotechnologies et se rendre compte que ces acteurs peuvent avoir des approches différentes des questionnements soulevés par les nanotechnologies 3. Comprendre pourquoi les développements des nanotechnologies sont controversés
Matériel et salles	– Un vidéoprojecteur ; – Fiches de consignes élèves + cahiers d'acteurs ; – Pancartes avec les noms des différentes organisations représentées dans le jeu de rôle ; – 2 salles pour la préparation du jeu de rôle pour éviter que les élèves ne se gênent pour travailler en petit groupe – 1 grande salle pour le jeu de rôle et la discussion en classe entière (à réorganiser entre les deux discussions) ;

Cette activité s'articule autour d'un jeu de rôle sur les enjeux des développements des nanotechnologies. Le matériel utilisé par les élèves fait partie des documents réalisés pour un cycle de débats publics organisé par la commission nationale du débat public (CNDP), les "cahiers d'acteur"[1].

1. Tous ces documents sont disponibles en ligne, sur le site de la CNDP : http ://www.debatpublic-nano.org/documents/cahiers_acteurs.html

Déroulement	Durée	Consignes énoncées par l'enseignant
		Les élèves travaillent par groupe de 3 ou 4 pendant les 2 premières heures de la séance. Pour gagner du temps, on peut donc demander aux élèves de former des groupes avant la séance. *De plus, les élèves vont devoir discuter lors des travaux en groupe. Il peut donc être utile de disposer de deux salles pour éviter que les groupes ne se gênent.* *La présentation de la séance se fait toutefois en classe entière.* *Pour faciliter la distribution des documents, il est souhaitable que les élèves travaillant ensemble se mettent à côté.*
Présentation de la séance	5'	– Présentation du déroulement de la séance : 1. L'objectif de cette séance est de faire découvrir aux élèves ce que sont les nanosciences et les nanotechnologies et quels sont les enjeux de leurs développements. 2. Cette séance va durer 4 heures. Elle va s'organiser autour d'une mise en débat sur les nanotechnologies, sous forme de jeu de rôle, comme s'il s'agissait d'un débat public. La séance va se dérouler en 4 temps. (Projection du diaporama : diapo : "déroulement de la séance") – D'abord les élèves vont préparer leur intervention pour le débat par groupe de 3. Chaque groupe de 3 va travailler sur les arguments d'un acteur différent. – On va ensuite jouer le débat. Dans chaque groupe de trois, un élève sera choisi pour représenter l'acteur dont il aura étudié les points de vue et les arguments. Les autres élèves seront chargés d'étudier comment "leur" acteur argumente et comment les autres lui répondent. – Suite au jeu de rôle, les élèves auront quelques minutes pour rediscuter par 3 de ce qui se sera passé au cours du jeu de rôle. – Puis dans une discussion finale, et les élèves pourront discuter de ce qu'ils auront lu et du contenu du jeu de rôle en avançant leur opinion personnelle.
		Distribution des documents aux élèves. *(Pour éviter de perdre du temps à distribuer des feuilles, on peut rassembler les documents dans une pochette cartonnée et mettre dans des chemises différentes les fiches dont les élèves auront besoin à des moments différents de la séance.)*

Déroulement	Durée	Consignes énoncées par l'enseignant
Présentation des consignes d'exploitation du cahier d'acteur pour préparer le jeu de rôle	10'	– Présentation de la pochette : On distribue aux élèves une pochette par groupe d'élèves. Cette pochette contient trois chemises. La première contient tous les documents dont ils ont besoin pour l'instant : la Fiche 1, les cahiers d'acteurs, et des tableaux "préparation du débat" . – Présentation des cahiers d'acteurs et du débat public : (Ppt : diapo "préparation du jeu de rôle : étape 1") Ces documents sont des documents qui ont été réalisés à l'occasion de la tenue d'un cycle de débats publics qui a eu lieu à la fin de l'année 2009 et au début de l'année 2010, portant sur "les développements et la régulation des nanotechnologies" . Les documents que les élèves vont étudier sont ceux qui ont servi pour préparer le "vrai débat public". Ils ont été produits par différentes organisations et résument les positions, les arguments et les recommandations de ces organisations. – Lecture avec les élèves des consignes de la fiche 1 et des tableaux de préparation du débat (voir document pdf fiches élèves). **Insister ici sur l'importance de l'étape de lecture.** Il est essentiel que les élèves prennent le temps de lire une voire deux fois le contenu du cahier d'acteur et de bien comprendre le texte qui leur a été distribué. – Illustrer par un ou deux exemples, sur un extrait de cahier d'acteur non utilisé dans cette activité ce qu'est un thème, une thèse, un argument ; Pour cela, projeter un extrait sur diapositive, en très gros ; demander à quelqu'un de lire. Puis, dans un jeu de question réponse faire chercher aux élèves, le thème auquel s'intéresse l'acteur, sa prise de position et les arguments. – Puis après cet ou ces exemple(s) annoncer aux élèves que la balle est dans leur camp. Ils ont en gros une bonne heure de préparation. Il ne faut pas traîner, mais ils ont suffisamment de temps pour lire en profondeur le document. On peut aussi suggérer ici aux élèves de prendre des notes au fur et à mesure de leur lecture ou de surligner le document comme ils le font sans doute en Français ou en Histoire/Géo.
Phase 1 - Préparation du jeu de rôle	1H	*Travail des élèves par petits groupes.*

Déroulement	Durée	Consignes énoncées par l'enseignant
	5'	*Lorsqu'il reste environ 30 minutes avant la pause, interrompre quelques minutes les élèves pour qu'ils se préparent au jeu de rôle.* – Les cahiers qu'ils sont en train d'étudier vont leur servir pour le débat qui aura lieu juste après la pause. Dans ce "débat public", un élève de chaque groupe va représenter l'acteur, dont ils ont étudié le cahier. Au cours du jeu de rôle, ces "élèves-acteurs" vont devoir restituer uniquement ce que l'organisation qu'ils représenteront a écrit dans son cahier. En aucun cas, on ne leur demande leur opinion personnelle. Insister sur le fait qu'ils ne doivent porte que le discours de l'acteur et rien que le discours de l'acteur. – L'élève-acteur va être interrogé sur ce que sont, pour l'organisation qu'il représentent, les enjeux et les priorités du développement des nanosciences et des nanotechnologies, dans le cas où de nouveaux budgets seraient attribués à la recherche scientifique et technologique. – Il lui sera de plus demandé, en introduction du débat, de présenter l'organisation qu'il représente en quelques phrases. – Pour finir de préparer le débat, les élèves disposent dans leur pochette d'une Fiche 2 (voir pdf document élèves ; la fiche est recto-verso) à remplir. – Lecture de la fiche de consignes avec les élèves pour s'assurer qu'il n'y ait pas d'incompréhension. – Insister sur le rôle des observateurs : Pendant le jeu de rôle, les deux observateurs devront suivre "leur" acteur et noter plusieurs choses (cf fiche 2). Ils font deux observations indépendantes, chacun la sienne. Aussi avoir deux observateurs (ou 3 pour les deux groupes de 4) leur permettra de recouper leurs observations.
	25'	*Travail des élèves par petits groupes pour finir de remplir leurs tableaux de préparation du jeu de rôle et remplir la fiche 2.* *Passer dans les différents groupes pour s'assurer que les élèves ont déterminé qui serait acteur dans le jeu de rôle.* *Si certains élèves ont fini avant la pause, on peut proposer aux observateurs de "coacher" leur acteur, en lui faisant "répéter".*
Récréation	10 min	*Avant de laisser les élèves partir en pause, leur dire de préparer leurs fiches d'observation et leur pancarte pour ne pas perdre trop de temps lors de l'installation pour le jeu de rôle.*

Déroulement	Durée	Consignes énoncées par l'enseignant
Phase 2 - Jeu de rôle	5'	Les acteurs s'intallent d'un côté comme ils veulent. Les observateurs leur font face. – Dire aux élèves qu'ils peuvent garder avec eux leurs fiches de préparation et le cahier d'acteur pendant le jeu de rôle.
	30 min	Rappel des règles du déroulement du débat 1. Chaque acteur qui veut intervenir demande la parole en levant la main 2. On ne coupe pas la parole aux autres. 3. Il est strictement interdit de tenir des propos agressifs ou des paroles agressantes pour l'un des autres participants au débats. 4. Le débat public va durer 30 minutes. Comme les élèves sont 10 ou 11 intervenants, il faut qu'ils s'efforcent d'être le plus concis possible lors de leurs prises de parole. Au bout de 30 minutes, on fera un rapide tour de table en guise de conclusion. 5. Les observateurs ici présents sont chargés d'observer le débat et de noter sur papier les interventions de l'acteur qu'ils ont accompagné pendant la préparation. Leur rôle est très important car c'est eux et leurs observations qui vont nourrir la discussion qui suivra le débat. 6. Les acteurs doivent parler fort et distinctement pour que l'auditoire puisse profiter de ce qu'ils ont à dire. 7. Vérifier qu'il n'y a pas de questions. Puis lancer le débat. – Présentation pour la mise en débat "Bonjour mesdames et messieurs. On vous a réunis car de nouveaux budgets doivent être alloués pour la recherche scientifique et technologique. Fin 2008, ce sont les nano par l'intermédiaire du plan NanoInnov ont obtenu des fonds très importants. Faut-il continuer dans cette même veine ? Quels sont les enjeux des développements de ces nanosciences et de ces nanotechnologies ? Pour en débattre, nous accueillons aujourd'hui 10 (ou 11) personnes qui tous s'intéressent aux développements des nanosciences et des nanotechnologies. On va commencer par un rapide tour de table pour que les acteurs puissent se présenter en une phrase. Qui êtes-vous, comment définissez vous votre mission ?"

Déroulement	Durée	Consignes énoncées par l'enseignant
		– Rapide tour de table où chaque acteur se présente – Lancement du débat : quels sont pour vous les enjeux et les principaux défis des développements des nanosciences et des nanotechnologies ? Le gestionnaire de débat essaie ensuite de faire expliciter au mieux les points de vue et les arguments des différents acteurs et de balayer tous les thèmes mentionnés dans les cahiers d'acteurs. Pour cela, il est utile d'avoir relu les différents documents distribués aux élèves avant la séance. – Pour la conclusion du débat : tour de table : Demander à chaque élève ce qu'ils veulent dire pour le mot de la fin.
		Les élèves vont ensuite reformer les même petits groupes de trois qu'en préparation du jeu de rôle. *Juste après le jeu de rôle, tant que tout le monde est assis, présenter aux élèves ce qu'on attend de ce travail en petit groupe.*
Phase 3 - Travail en petit groupe	5'	À présent, ce qu'il est demandé aux élèves, c'est de revenir sur ce qui s'est passé dans le débat. Pour cela les élèves vont utiliser la fiche 3 qui est dans leur pochette (voir fichier pdf documents élèves) – Lecture ensemble des consignes. Les élèves ont 15 minutes pour remplir cette fiche. – L'une des questions demande aux élèves de *"Résumer en une phrase le ou les point(s) clé(s) mis en avant par l'organisation auteur du cahier que vous avez étudié."* Avertir les élèves qu'au terme de ces 15 minutes, on leur demandera de présenter la phrase résumant la position de l'acteur au reste de la classe.
	15'	*Les élèves remplissent la page "Fiche 3".*
	2'	*Changement de la disposition de la salle où a eu lieu le jeu de rôle. Les sièges sont arrangés de manière à former un grand U, face au tableau où vont être vidéo projetées ou noté les phrases des élèves.* *Les élèves s'asseyent en se mettant par trinômes, les uns à côté des autres. Dire aux élèves de prendre tous les documents de la pochette avec eux.*

Déroulement	Durée	Consignes énoncées par l'enseignant
Phase 4 - Recueil des phrases préparées par les élèves puis vote	~ 15'	La fin de la séance va être organisée en trois temps. D'abord, les élèves vont dicter les phrases résumant le ou les points-clés de leur cahier d'acteurs. Ces phrases vont être notées et vidéoprojetées. Ensuite, on va leur demander de voter, pour déterminer le quel de ces points clés leur semble, personnellement, le plus important. Enfin, suite à ce vote, il y aura un temps de discussion où les élèves pourront confronter leurs points de vue, dire ce qu'ils ont pensé du cahier d'acteur qu'ils ont lu et discuter du contenu du jeu de rôle. – Chaque groupe de 3 énonce la phrase résumant le ou les points clés de leur cahier d'acteur. – Ces phrases-résumées sont notées au tableau ou sur diaporama par l'un des encadrants. Si elles sont notées sur diaporama, penser à désactiver l'écran de vieille pour que les élèves voient en permance les différentes propositions. – Une fois que toutes ces phrases sont notées, souligner, qu'on passe à autre chose : Jusqu'à maintenant dans l'activité, on n'a pas demandé aux élèves leur avis sur ce qu'ils avaient lu ou entendu ; on leur a seulement demandé de répercuter ce que pensait l'acteur dont ils avaient étudié le cahier. A présent, c'est eux qui s'expriment en leur nom. La question qu'on leur pose est la suivante : Parmi toutes les phrases au tableau, quelles sont celles qui reflètent la prise de position dont ils se sentent le plus proche ? Les élèves ont le droit de voter pour une ou deux propositions parmi les 10 (ou 11) notées au tableau. – Il y a 3 "bulletins de vote" dans chaque chemise. Chaque membre du trinôme va en prendre une et marquer sur cette fiche le numéro de prise de position notée au tableau dont il se sent le plus proche. – Les élèves ont 1 ou 2 minutes et réfléchissent seuls. On ne doit rien entendre pendant cette minute où ils votent. – Par ailleurs, préciser aux élèves qu'on ne leur demande en aucun cas de plébisciter l'intervention d'un acteur. On les interroge sur le fond. Ils votent pour une proposition parce que c'est celle qui leur paraît la plus proche de ce que, eux, considèrent important. – En particulier, préciser que ce n'est pas parce qu'un élève a endossé le rôle d'un acteur, qu'il était forcément en accord avec les arguments qu'ils ont été amené à mettre en avant dans le jeu de rôle.

Déroulement	Durée	Consignes énoncées par l'enseignant
Session de discussion avec une prise de position personnelle.	15-20 min	– Vote ; la minute écoulée, on procède au "décompte" des voix. Ici, éviter de parler de "vote pour les amis de la terre" ou de "vote pour l'académie de médecine". Préférer des formulations du genre : "Qui se sent proche de la position de l'académie de médecine, telle qu'elle est synthétisée ici ?" – Discussion sur le vote : Cette dernière phase de l'activité permet aux élèves de confronter leurs points de vue et leurs arguments à ceux des autres. Le gestionnaire du débat oriente les échanges autour des trois questions suivantes : 1. Les élèves peuvent-ils expliciter les raisons de leur vote ? 2. Qu'ont-il pensé du contenu du cahier d'acteurs qu'ils ont étudié et pourquoi ? 3. Qu'ont-il pensé du contenu des échanges lors du jeu de rôle ?
Conclusion de la séance	5-10 min	On peut conclure la séance par une petite discussion où l'on demande aux élèves ce qu'ils diraient à leurs copains ou leurs parents, si on leur demandaient, juste en sortant, ce que sont les nanotechnologies. Ouvrir sur la séance d'après qui proposera aux élèves d'approfondir certaines dimensions des débats soulevés par les développements des nanotechnologies.

13.2 Diapositives présentées aux élèves lors de l'exposé des consignes

DÉROULEMENT DE LA SÉANCE

Phase 1	Préparation du jeu de rôle par groupe de 3	1H40
Pause		
Phase 2	Jeu de rôle	30 min
Phase 3	Retour par groupe de 3 sur le jeu de rôle	30 min
Phase 4	Discussion	30 min
Conclusion de la séance		15 min

PRÉPARATION DU JEU DE RÔLE : ÉTAPE 1

Etude d'un des cahiers d'acteur
du débat public sur les nanotechnologies
organisé par la commission du nationale
du débat public dans toute la France.

Extrait du cahier du CES Rhône Alpes

«Les nanotechnologies sont un élément fort de l'économie de la connaissance dans laquelle Rhône-Alpes s'inscrit (...).

Tous les grands secteurs concernés par les nanotechnologies (santé/ médecine, chimie, textile, technologies de l'information et de la communication, matériaux et à travers eux, l'énergie, l'environnement et les transports...) sont représentés en Rhône-Alpes.

Au-delà de Grenoble, tête de pont de la recherche « dédiée » en matière de N&N, c'est l'ensemble de la recherche et de l'industrie régionales qui est concerné par les nanotechnologies, notamment autour des pôles de compétitivité Minalogic mais aussi Lyon Biopôle, Lyon Urban Trucks & Buses, Axelera, Techtera, Tenerrdis, ou encore Plastipolis. Les pôles [de compétitivité locaux], porteurs de projets collaboratifs (universités et entreprises) constituent une courroie de transmission essentielle pour transformer les résultats de la recherche en développements économiques.»

Thème :
La place des nanotechnologies dans l'économie Rhône-Alpine

Thèse soutenue :

Les nanotechnologies sont un élément important du développement de l'économie de la connaissance que soutient la région Rhône-Alpes.

Arguments :

- Tous les secteurs concernés par les nanotechnologies sont représentés en Rhône-Alpes
- Grenoble est une « tête de pont »
- L'ensemble des recherches et des industries de la région sont concernées
- L'organisation de la recherche favorise le transfert des résultats de recherches vers l'industrie

Extrait du cahier du CES Rhône Alpes

«En matière scientifique, la société est placée en position de « réceptrice » et d'utilisatrice des avancées de la connaissance. Elle ne peut rétroagir qu'a posteriori, lorsqu'elle valide les choix effectués mais aussi lorsqu'elle en subit les errements. Cette position de « réceptacle ex post » est renforcée avec l'immatérialité apparente des nanotechnologies et des nanoproduits.»

Thème :
Le rôle de la société dans le processus de développement des nanos

Thèse soutenue :

La société est placée dans une position de réceptrice

Arguments :

- Les citoyens ne peuvent réagir qu'a posteriori, une fois que les décisions sont prises « pour valider les choix effectués »
- La société peut pâtir des « errements » des développements scientifiques et technologiques
- Cette situation est renforcée par le fait que les nanotechnologies sont invisibles et abstraites, « immatérielles ».

13.3 Fiches distribuées aux élèves

Par groupe :
- 3 exemplaires d'un cahier d'acteur
- 1 fiche 1
- 5 fiches de préparation du débat
- 1 fiche 2 (Recto-Verso)
- 1 fiches d'observation (Recto-Verso) par élève-observateurs
- 1 fiche 3
- un petit bout de papier pour le vote par élève du groupe

Vous venez de recevoir un cahier d'acteur rédigé pour le débat public sur les nanosciences et les nanotechnologies. Vous allez représenter cet acteur dans un débat. Aussi, pour le représenter il faut que vous connaissiez ce qu'il pense des nanotechnologies.
Vous allez donc commencer par étudier ce cahier d'acteur. Vous procéderez en 2 temps :

1. Lecture individuelle du cahier d'acteur.
2. Repérage en petit groupe des éléments suivants (vous noterez vos réponses directement sur cette feuille) :
   (a) Qui a écrit ce cahier ?
   (b) Cet acteur définit-il ses missions et si oui, comment ?
   (c) Quels sont les thèmes abordés dans ce cahier d'acteur ?
   -
   -
   -
   -
   -
   (d) Pour chacun de ces thèmes, vous remplirez un exemplaire du tableau "Préparation du débat" dont vous avez plusieurs copies dans votre pochette.

Thèses et arguments de l'acteur sur ce thème (Illustrer chaque argument avec la/les citation(s) du texte qui vous semblent les plus pertinentes)	
Recommandations que l'acteur formule (Illustrer chaque recommandation avec la/les citation(s) du texte qui vous semblent les plus pertinentes)	

Au cours du débat, un élève de votre groupe de trois va représenter l'acteur dont vous avez analysé le cahier. Les autres membres du groupe vont étudier le débat et plus précisément la manière dont l'élève-acteur contribue à la discussion.

Préparation de l'intervention de l'acteur (par trinôme) :

Classer les thèmes du cahier acteur du plus important au moins important. Vous les numéroterez sur la fiche 1 à la question 2 (c) par ordre d'importance (1 = celui qui vous semble le plus important ; 2 = aspect un peu moins important que 1...) et vous justifierez ci-dessous par écrit les raisons de ce classement.

Raisons de ce classement :

Au cours du débat, l'élève-acteur doit se servir uniquement des arguments présents dans le cahier d'acteur. Il doit s'efforcer d'en restituer fidèlement le contenu et donc de mettre l'accent en particulier sur les thèmes les plus importants développés dans ce document.

Préparation de l'observation du débat : Les observateurs doivent chacun repérer et noter dans le tableau "Tableau observation du débat" les éléments suivants :

- Quels arguments "votre acteur" réussit-il à replacer dans le jeu de rôle ? (colonne 1)
- Quels sont les contre-arguments qui lui sont opposés ? (colonne 2)
- Par qui sont-ils opposés ? (colonne 2)
- Comment votre acteur répond-il ? (colonne 3)

Que dit votre acteur	Contre-argument d'un autre acteur	Réponse de votre acteur au contre-argument
	Qui parle : Que dit-il :	
	Qui parle : Que dit-il :	
	Qui parle : Que dit-il :	
	Qui parle : Que dit-il :	

Que dit votre acteur	Contre-argument d'un autre acteur	Réponse de votre acteur au contre-argument
	Qui parle : Que dit-il :	
	Qui parle : Que dit-il :	
	Qui parle : Que dit-il :	
	Qui parle : Que dit-il :	

Suite au débat, on vous demande de revenir par groupe de 3 sur le contenu des discussions. Vous discuterez donc de vos observations du jeu de rôle puis vous remplirez cette fiche.

- Quels sont les thèmes qui ont été abordés au cours de la discussion ?

- Résumer en une phrase le ou les point(s) clé(s) mis en avant par l'organisation auteur du cahier que vous avez étudié.

- Que pensez-vous du contenu du cahier d'acteur que vous avez étudié ?

Nom :	Nom :
Nom :	Nom :
Nom :	Nom :
Nom :	Nom :
Nom :	Nom :
Nom :	Nom :
Nom :	Nom :
Nom :	Nom :

13.4 Cahiers d'acteurs distribués aux élèves

13.4.1 Raisons motivant le choix des documents retenus

Comme je n'avais pas sous la main de procédure prédéfinie pour opérer cette sélection, j'ai tenté d'expliciter les différents éléments qui me semblaient importants à considérer pour ce choix. En cohérence avec notre question de recherche :

> Comment les élèves considèrent et mettent à distance les discours sur les nanosciences et les nanotechnologies portés par différents acteurs intéressés par les développements des nanosciences et des nanotechnologies en société ?

je voulais repérer :

- Si les élèves identifieraient suivant les acteurs, quels étaient les aspects des développements des nanos qui suscitaient des interrogations, de oppositions, de l'enthousiasme.
- Sur un objet de préoccupation particulier, comment ils appréhenderaient et mettraient à distance
  - la diversité des points de vue des acteurs
  - les différents arguments mis en avant par les différents acteurs pour asseoir leur position voire pour contrer l'argument d'un autre acteur

Par conséquent, j'ai cherché à retenir 11 cahiers d'acteurs permettant d'abord de rendre compte :

1. de la diversité de leurs objets de préoccupation et de la multiplicité des positionnements identifiés dans l'analyse des controverses.
2. de la diversité des acteurs participant aux débats ; je comptais aussi retenir un maximum de deux cahiers par catégorie d'acteur que j'avais identifiée.

Ensuite, pour que le débat ne se résume pas à un exposé d'argumentaires déconnectés les uns des autres, il fallait que le jeu de rôle puisse occasionner des échanges, des interactions, des ripostes, des acquiescements sur des objets de préoccupation partagés par différents acteurs. Or, comme dans le jeu de rôle, je demanderais aux élèves de se limiter à avancer les arguments contenus dans les cahiers d'acteur, il fallait qu'il y ait des recoupements, des recouvrements dans les objets de débats traités dans ces documents. Cet aspect pouvait être toutefois être un peu nuancé. En effet, le modérateur du débat pourrait jouer un rôle de régulateur dans l'attribution des tours de paroles et solliciter les acteurs qui se retrouveraient incapables de prendre part aux échanges car le groupe qu'il représenterait n'aborderait aucun des thèmes mis en avant par les autres.

Enfin, le dernier aspect auquel je souhaitais prêter attention concernait la forme des cahiers d'acteurs. Les élèves allaient devoir les analyser en un temps court. De ce fait, j'ai prêté aussi bien à la clarté de l'expression qu'aux difficultés de compréhension que leur contenu pourraient occasionner.

Pour effectuer mon choix de supports à distribuer aux élèves, j'ai donc relu tous les cahiers d'acteurs et travaillé catégorie par catégorie pour finalement retenir ce premier assortiment de contributions. Je gardai :

- celle du CNRS et du CEA : Ces deux organismes de recherche étaient en effet des acteurs incontournables du développement des nanosciences et des nanotechnologies en France. De plus, les élèves allaient ensuite prendre part aux ateliers Nano@school proposés par des chercheurs travaillant dans des laboratoires CNRS ou au CEA. Je préférai donc cette contribution à celles d'autres organismes de recherches comme l'INRIA et de l'INSERM.
- celle de l'INRS et/ou de l'AFSSA : il me semblait indispensable d'avoir parmi ces cahiers au moins un texte d'un institut ou d'une agence d'expertise travaillant à l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux. La contribution de l'INRS me paraissait l'une des plus abordables et des plus facilement exploitables. De plus, sur le plan du

contenu, cet institut abordait et résumait assez clairement beaucoup de difficultés mises en avant pour évaluer à la fois la dangerosité des nanoparticules et des nanomatériaux, mais aussi l'exposition des travailleurs.
D'un autre côté, le cahier de l'AFSSA me paraissait intéressant car il abordait un cas concret : celui de l'utilisation des nanotechnologies dans l'alimentation. De plus, cet acteur soulignait dans ce document certaines difficultés pour estimer la toxicité des productions et les expositions des populations mais aussi pour mettre en place une réglementation.

- celle de la CFE-CGC : je souhaitais retenir une association de consommateur ou un syndicat. J'optai pour la CFE-CGC. J'avais quelques réticences car cette contribution était assez dense et surtout car il s'agissait d'un syndicat particulier, un syndicat de cadres. Cependant, il me semblait que cet acteurabordait de façon assez percutante des questions économiques, comme les perspectives pour le marché de l'emploi, les difficultés que pouvaient rencontrer les PME ou encore la question de la législation en matière de propriété intellectuelle. Je le retenai donc, surtout qu'il me paraissait structuré d'une manière assez claire, rendant son contenu exploitable par des élèves de première.
- la contribution de la FEBEA : parmi les acteurs du panel du débat public miniature joué par les élèves, je voulais voir figurer un représentant d'industries. Après avoir hésité entre les cahiers de l'ANIA, de la FEBEA, du LEEM et de l'UIC, je choisis celui de la FEBEA, car son cahier d'acteur était assez clairement structuré. De plus au moment du débat de la CNDP, l'industrie cosmétique utilisait du dioxyde de titane nanométrique depuis plusieurs années et cet exemple était souvent souligné pour arguer que certaines nanoparticules étaient déjà largement utilisées dans des produits de consommation courante. Enfin cette fédération d'industriels portait un discours souvent retrouvé dans les cahiers de cette catégorie d'acteur sur la "démarche responsable" de ces industries que la FEBEA n'hésitait pas à présenter comme exemplaire.
- celle de l'Académie Nationale de Médecine : Parmi les sociétés savantes ayant répondu à l'appel de la CNDP, je sélectionnai le texte produit par l'académie de médecine. En effet, cette contribution très bien structurée abordait plusieurs aspects de l'utilisation des nanotechnologies pour la médecine et abordait certains questionnements qualifiés d'éthiques suscités par les perspectives ouvertes par les nanosciences et les nanotechnologies.
- celui de l'Association Française Transhumaniste : Je retins cette contribution un peu à part dans les cahiers d'acteurs puisqu'elle se centrait en grande partie sur les questionnements philosophiques du type "qu'est-ce que l'humain ?", "Quelle liberté de disposer de son corps et éventuellement de l'améliorer laisse une société aux individus qui la composent ?". De plus, les membres de cette associations plaidaient dans ce document pour que le développement des nanosciences et des nanotechnologies permette à l'humanité de tendre vers cet horizon où il serait possible voire courant d'implanter des nano-implants dans le corps des individus pour les "améliorer". Or cette position était vivement critiquée par d'autres acteurs (PMO parle par exemple des transhumanistes comme d'une secte). Ainsi introduire les transhumanistes dans la boucle du débat me paraissait avoir un intérêt pour permettre aux élèves d'examiner la diversité des acteurs et des positionnements adoptés sur les directions à prendre ou les projets jugés désirables en matière de nanosciences ou de nanotechnologies. Enfin, étant donné l'importance que certains membres de ce mouvement aux USA paraissent avoir dans les choix d'orientations scientifiques et technologiques, il me semblait indispensable de l'adjoindre au reste des acteurs présentés aux élèves.
- le cahier de la CNIL : La CNIL figurait aussi au rang des acteurs retenu dont les élèves endosseraient le rôle pour le "débat public". Il me paraissait indispensable de laisser voix au chapitre à cette commission, puisqu'en matière de questionnements sur les menaces

que pourraient faire planer les développements des nanosciences et des nanotechnologies sur les libertés individuelles, c'est elle qui allait le plus loin dans ses questionnements. De plus, dans plusieurs cahiers (CESE, Indecosa-CGT, CESBretagne...), d'autres acteurs faisaient explicitement référence à cette autorité, estimant qu'elle était la mieux placée pour s'emparer de ces problèmes de mise en danger des libertés.

- celui des Amis de la Terre : J'escomptais également choisir une association ou un mouvement de "défense de l'environnement". Il me fallait choisir entre l'ORDIMIP, la SEPANSO, France Nature Environnement, la FIDEA, les Amis de la Terre, mais aussi les Verts. Les approches du débat sur les développements et la régulation des nanotechnologies de ces acteurs étaient relativement disparates. J'ai finalement retenu le cahier des Amis de la Terre, car tout en abordant les questions sanitaires et environnementales mises sur le devant de la scène par l'utilisation massive des nanoparticules et des nanomatériaux, ils questionnaient aussi, le modèle économique sous-tendant le développement des nanosciences et des nanotechnologies. Ils abordaient la notion de choix politique du développement des nanos. Ils mentionnaient aussi très brièvement les "questionnements éthiques" alimentés par ces technosciences. Enfin, bien qu'ils balaient assez rapidement plusieurs dimensions des questions soulevées par les nanos, ce cahier avait une structure relativement claire, me paraissant assez facilement exploitable par les élèves.
- Celui du conseil économique social et environnemental : J'avais quelques hésitations à faire figurer dans cette liste la contribution d'un conseil économique et social ou d'un conseil régional. J'écartai l'intervention du conseil économique et social de Franche-Comté qui me semblait un peu décalée, et celle du conseil régional d'île de France qui ne me semblait pas appropriée car cette institution n'y prennait pas position, se servant des conclusions de la conférence de citoyens qui s'était tenue dans cette région en 2006. Il ne me restait aussi que les deux contributions des conseils économiques et sociaux Breton et Rhône-Alpin, et celle du conseil économique, social et environnemental. J'optai de manière un peu arbitraire pour le dernier. Ce choix ne me paraissait problématique que dans le cas où j'aurais gardé de la CGT-INDECOSA car ils présentaient des similitudes troublantes.
- Enfin, il me fallait retenir au moins une contribution des associations que j'avais qualifiées de "citoyennes" lors de mon analyse des controverses. Parmi tous les cahiers d'acteur, c'étaient dans ceux-ci qu'était abordée le plus en détail la dimension politique des développements des nanosciences et des nanotechnologies et qu'était questionnée la manière dont étaient pris les choix technoscientifiques à l'heure des nanos. J'avais toutefois du mal à me décider.

  Les contributions de Vivagora, de Sciences Citoyennes, du collectif issu du Forum mondial Sciences et Démocratie et de l'association Sciences et Démocratie traitaient de ces questions à une échelle nationale, tandis que celle du CENG avait la particularité de se centrer sur une illustration précise : celle du développement de Clinatec, la clinique des micro et des nanotechnologies à Grenoble. Ce détail me paraissait intéressant puisque les élèves étaient amenés à venir dans cette ville même si cette focalisation sur un cas particulier pouvait aussi restreindre la discussion. D'autre part, le discours de ce collectif me paraissait indiquer de façon assez nette la nécessité, selon le CENG, d'insister sur la dimension politique des développements des nanosciences et des nanotechnologies ; Cet aspect paraissait plus facilement lisible chez le CENG que dans d'autres cahiers d'acteurs comme par exemple celui de Vivagora.

  Sur le plan des critiques envers les procédures de consultation des citoyens, il me semblait en revanche que c'était le cahier de la fondation Sciences Citoyennes se démarquait des autres. Il me paraissait toutefois un peu difficile à exploiter pour les élèves car il était justement pour sa majeure partie construit autour de la critique du débat du CNDP.

Concernant ce dernier point, Virginie argumenta en faveur d'une répartition en deux groupes de quatre et huit groupes de 3 puis nous revînmes sur le choix des cahiers d'acteurs. Nous choisîmes de garder celui de l'INRS plutôt que celui de l'AFSSA, qui se concentrait sur les nanotechnologies dans l'alimentation.

Restait à déterminer quelle contribution d'association citoyenne retenir. Je soulignais les points forts de celle du CENG qui abordait la question du développement des nanotechnologies en se plaçant explicitement sur un terrain politique et qui offrait une illustration concrète de mode de prise de décision faisant débat ; Mais Virginie objecta que le message de contestation des procédures de débats, tout comme la dénonciation d'un choix univoque de développer les nanotechnologies pour résoudre les maux de nos société au détriment de l'exploration d'alternatives était présenté de manière beaucoup plus percutante dans le cahier de Sciences Citoyennes.

Finalement, pour représenter au mieux les différents pôles de préoccupations identifiés dans l'analyse de controverses, nous nous entendîmes pour conserver ces deux cahiers d'acteurs. Cela en faisait 11 au total. Nous devions donc en supprimer un dans ce lot. Nous décidâmes alors, d'écarter celui du conseil économique social et environnemental qui ne présentait pas de prises de positions à même de bousculer ou de faire particulièrement avancer la discussion.

13.4.2 Cahiers distribués

cndp
Commission particulière du débat public
Nanotechnologies

CAHIER D'ACTEUR SUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA RÉGULATION DES NANOTECHNOLOGIES

L'Académie nationale de médecine est l'héritière de l'Académie de chirurgie fondée par Louis XV et de la Société royale de médecine, toutes deux dissoutes à la Révolution. Elle naît à l'initiative du Baron Portal, médecin de Louis XVIII.
Ses membres ne sont pas nommés mais élus par leurs pairs.
Selon L'ordonnance royale de 1820 : « *Cette Académie sera spécialement instituée pour répondre aux demandes du gouvernement sur tout ce qui intéresse la santé publique, et principalement sur les épidémies, les maladies particulières à certains pays, les épizooties, les différents cas de médecine légale, la propagation de la vaccine, l'examen des remèdes nouveaux et des remèdes secrets, tant internes qu'externes, les eaux minérales naturelles ou factices, etc. ... elle s'occupera de tous les objets d'étude ou de recherches qui peuvent contribuer au progrès des différentes branches de l'art de guérir.* »

COORDONNÉES

Académie nationale de médecine
16, rue Bonaparte
75006 PARIS
Tél. : 01 42 34 57 70
Fax : 01 40 46 87 55
administration@academie-medecine.fr
http://www.academie-medecine.fr

Nano sciences et médecine

C-H. Chouard & E. Milgrom

(Résumé du Rapport et des recommandations de l'Académie nationale de médecine)

Une des caractéristiques du nanomonde est l'apparition, pour certaines substances, de propriétés nouvelles, notamment biologiques, à mesure que leur taille diminue. De leurs applications sont issus beaucoup des progrès récents de la médecine. Dans ce Cahier, nous appellerons « nano-objets » les structures de taille nanométrique volontairement fabriquées par l'ingéniosité de l'homme. Nous ne traiterons pas des nanoparticules de la pollution environnementale, même quand certaines sont le fruit involontaire de l'activité humaine (voitures, chauffage, etc.).

Les progrès médicaux dus aux Nanotechnologies

Les Nanosciences, en accroissant les capacités des mémoires informatiques, ont révolutionné les performances de toute l'électronique médicale, implantée ou non. Mais c'est dans la qualité du diagnostic et dans la puissance des traitements que les progrès apportés sont les plus spectaculaires.

Les techniques nanométriques permettent un **diagnostic** rapide, fiable, ultrasensible et peu onéreux, fondé sur les données fournies par un ensemble de plus en plus spécialisé de biopuces et de marqueurs moléculaires. Dans quelques cas, on parvient déjà à un véritable diagnostic biologique individuel : ceci permet de réaliser, dans certaines affections, des traitements hautement spécifiques, tenant compte des particularités propres à chaque patient. On commence à voir ainsi apparaître ce qui sera peut-être dans le futur une véritable **médecine personnalisée**, tenant de mieux en mieux compte des particularités de chaque individu. En outre, l'imagerie moléculaire, maintenant réalisable chez l'animal, permet de déceler sur un sujet vivant une anomalie cellulaire dans les phases les plus précoces d'une maladie, avant même que celle-ci se traduise par un changement dans la structure des tissus ; même si elle n'a pas encore d'application chez l'homme, notamment sur le plan diagnostic, cette technique accélère considérablement la mise au point des médicaments nouveaux.

L'amélioration de la qualité des **traitements** repose notamment sur le transfert ciblé des médicaments, qui est maintenant possible dans beaucoup d'affections. Le principe de cette « vectorisation » est de fabriquer des médicaments dont la structure physique est nouvelle : par exemple, certains sont constitués d'une capsule nanométrique, qui contient la substance médicamenteuse, et dont, en plus, la surface extérieure est recouverte par une substance qui est attirée par les tissus malades ; au contact de ceux-ci, la capsule se dissout, et le médicament proprement dit s'applique directement sur les lésions, sans diffuser dans l'ensemble de l'organisme. On obtient ainsi une diminution des doses prescrites, une baisse de la toxicité et une meilleure tolérance thérapeutique.

Beaucoup d'autres avancées thérapeutiques récentes sont indirectement dues aux retombées techniques des nanosciences. Citons les stimulateurs cardiaques, sensoriels (implants auditifs), neurologiques (intracérébraux ou périphériques), les biosenseurs pilotant un traitement ou guidant la recherche pharmacologique, la réalisation de caméras digestives ou montées sur cathéters, etc. Et puis, la médecine, comme l'ensemble de notre quotidien, commence à bénéficier presque à son insu de la convergence des nano sciences avec les **techniques de l'information** et des **sciences cognitives** : pour un amputé du bras, par exemple, la télécommande par la pensée du patient d'une prothèse robotisée est maintenant possible.

Cette convergence permet d'espérer parvenir à traiter les déficiences physiques et sensorielles de l'être humain.

Les risques éventuels des Nano-Technologies pour la santé de l'homme

Comme toute invention humaine, les nano-technologies présentent un revers : celui de leurs risques potentiels, qui impliquent beaucoup de vigilance. Il appartient aux médecins de se préoccuper aussi bien des **risques environnementaux** potentiels auxquels les nonanoobjets pourraient exposer la population (notamment par la dispersion non contrôlée des produits usagés), que des risques éventuels encourus, bien sûr par le patient qui en bénéficie, mais aussi par les **personnels des entreprises**, qui fabriquent ou utilisent des nano-objets dans leurs procédures industrielles. La médecine du Travail est particulièrement concernée dans la prévention de ces risques et la veille sanitaire concernant leurs effets éventuels.

Cependant, si les recherches dans le domaine des nanosciences sont mondiales et intenses, les études sur les risques éventuels de ces nouvelles technologies et de leurs conséquences font partie de la plupart des programmes scientifiques en cours, justement en raison des expériences passées et de l'obligation de précaution. Il est remarquable que le développement des nanotechnologies, pendant ces vingt dernières années, se soit fait progressivement et sans accident majeur.

Comme c'est le cas pour toutes les substances, la toxicité des nanomatériaux dépend en grande partie de leurs concentrations. C'est pourquoi, à l'heure actuelle, les effets délétères de la nanoindustrie, qui déjà prend les plus grandes précautions, apparaissent moins probables que ceux des nano particules issues de la pollution environnementale, et ceci pour plusieurs raisons :

1/ On en prévient aujourd'hui les risques les plus vraisemblables, en raison justement de l'expérience acquise, d'une part en matière de pollution atmosphérique, et d'autre part à propos de l'amiante. Cette expérience est largement mise à profit dans la fabrication des nanomatériaux, notamment des tubes de carbone, bien qu'il n'existe encore pour la nano-industrie aucune réglementation particulière.
2/ De plus, la fabrication de ces nanomatériaux implique, en elle-même, afin d'éviter toute nano-souillure, l'emploi presque généralisé de salles blanches.
3/ C'est pourquoi la manipulation des nanomatériaux par leurs constructeurs et leurs utilisateurs expose normalement ceux-ci à des doses particulièrement faibles.
4/ Quant à l'administration à l'homme de nano-objets, elle est soumise à la contraignante réglementation de la mise sur le marché des médicaments et des matériaux implantés, impliquant des essais expérimentaux et cliniques approfondis, ce qui en a jusqu'à présent sécurisé l'emploi.

Mais si on dispose de travaux nombreux concernant les dangers des nanoparticules de la pollution environnementale, en revanche on ne dispose que de peu d'études animales évaluant ceux des nano-objets manufacturés, notamment à long terme. Pourquoi actuellement sait-on si

peu de choses sur la réalité et les mécanismes de cette toxicité redoutée pour l'ensemble des objets nés des nanotechnologies ?

Essentiellement pour deux raisons :

1/ **Cette activité est récente,** moins de vingt ans. Elle est restée longtemps très réduite, cantonnée dans les laboratoires de recherches fondamentales et appliquées. Son développement industriel n'a vraiment débuté qu'avec le siècle. C'est pourquoi, à moins d'une très forte dangerosité, la possibilité de voir apparaître rapidement des effets adverses insoupçonnés est faible.

2/ La multiplicité des métrologies nécessaires pour les nano-objets a rendu difficile jusqu'ici **la définition de l'ordre des priorités des recherches**. On ne dispose que d'études fragmentées, sans conceptualisation d'ensemble. Car ces risques sont sûrement différents suivant les propriétés physiques, chimiques et biologiques des nano-objets, leur concentration, leur mode d'utilisation, leur durée et de vie et leur mode de dégradation dans l'environnement.

Pour chaque nano-objet, il faudra disposer d'un dossier toxicologique complet, car aucune généralisation n'est, à l'heure actuelle, possible à partir des données obtenues avec des particules semblables mais non identiques.

La plupart des textes nécessaires sont encore en gestation, en grande partie parce qu'une métrologie adaptée à la toxicité effective doit d'abord être définie : des puces métrologiques pourraient être capables de le faire ; mais elles sont encore à construire !

En outre, pour chaque nano-objet doivent être bien connus :

> Son cycle de vie, afin d'assurer l'élimination des déchets de fabrication et de l'usure à long terme du produit ;
> Les mécanismes et les effets de sa toxicité biologique et écologique ;
> Les protocoles de confinement, piégeage et destruction qui lui sont propres. Si bien qu'il est possible que, pour chaque produit manufacturé, **une réglementation spécifique**, qui tienne compte de ses particularités, soit dans l'avenir finalement nécessaire.

On comprend ainsi les raisons du retard pris par la mise en place des textes propres aux nano-objets et relatifs à la protection de l'homme et de son environnement, dont l'absence a été l'un des griefs formulés par les opposants aux nanotechnologies. Cependant, la récente application de la procédure européenne REACH aux nanotubes de carbone montre que, au niveau aussi bien national qu'international, l'établissement d'une réglementation particulière est maintenant en marche.

Néanmoins devront être évitées les erreurs suivantes :

> Vouloir traiter toutes les nanoparticules (même celles déjà présentes naturellement dans l'environnement, ou résultant de l'activité humaine) ;
> Être dans une logique binaire (interdiction ou absence totale de précaution) ;
> Mettre en place systématiquement un moratoire.

C'est là où l'application du principe de précaution, inscrit dans la Constitution, doit tenir compte de toutes ses particularités[1].

En médecine, les Nanosciences posent des problèmes éthiques nouveaux

Comme en toute activité médicale, l'éthique est omniprésente dans les applications des nanotechnologies au domaine de la santé. Les recommandations qui s'y rapportent ont été récemment explicitées dans l'avis 96 du Comité Consultatif National d'Ethique du 01.02.07. Dans ce Rapport, on retrouve leur application soigneuse d'abord à propos de la hiérarchisation forcément ciblée de la recherche biologique fondamentale, tant ce nouveau domaine apparaît immense. On retrouve aussi cette attitude éthique à propos de la nécessité d'une métrologie nouvelle générant une réglementation évolutive, toutes

1. Précisées dans la loi Barnier du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement.

deux à l'échelle internationale. Il en est de même pour tout ce qui concerne l'information des patients, la traçabilité des substances, la vigilance sanitaire, la médecine du travail et la protection de l'environnement.

Deux problèmes nouveaux doivent être soulignés :

Le premier est lié à la **définition biologique de chaque individu** qui permettra de le soigner au mieux. Mais il serait inadmissible que ces informations personnelles de nature privée risquent d'être communiquées, tant aux autorités de l'Etat qu'à l'ensemble des membres de la société. C'est pourquoi, l'efficacité des procédures qui assurent la protection de ces éléments doit être régulièrement vérifiée, et c'est justement parce qu'elle l'est aujourd'hui, que ces risques de dérive sont en pratique bien maîtrisés.

Par ailleurs est-il bon ou dangereux pour la santé d'un individu qu'il soit **informé de ses propres caractéristiques biologiques ?** Cette question va vite se poser. Car ces informations permettent de prévoir l'avenir et celui de notre descendance. Certes, c'est avec u ne probabilité qui est mal connue ; mais surtout, cette probabilité est difficilement appréciable sans une solide culture biologique.

Par ailleurs, le risque de nouvelles tentatives d'eugénisme doit toujours être redouté afin d'être rapidement combattu, même s'il a toujours existé, quel que soit le niveau technique de l'humanité.

Pour toutes ces raisons, il importe que :

1/ Les programmes de recherches fondamentales sur les actions biologiques des nano-objets soient amplifiés, mais surtout que des projets prioritaires puissent être pragmatiquement décidés en urgence, en fonction de l'apparition éventuelle de constatations inquiétantes pour la santé publique.

2/ La directive européenne R.E.A.C.H., soit très vite adaptée aux installations industrielles concernées par les nanoparticules et les nanotechnologies, et qu'en attendant, au moins en France, la Médecine du Travail obtienne dans ce domaine des textes et des moyens lui permettant de remplir sa mission. Cette réglementation particulière devra être très régulièrement révisée, pour tenir compte de l'actualisation des connaissances sur ces substances.

3/ Les résultats obtenus par les médecins du travail en charge de l'application de la réglementation actuelle aux industries utilisant ou fabriquant des nano-objets soient **centralisés**, et que sans attendre soit instaurée **une veille sanitaire renforcée** propre aux nano particules non biodégradables, notamment les nanotubes de carbone.

4/ Soient mises au point très rapidement les métrologies multiples adaptées à chaque produit issu des nanotechnologies, et que, en attendant, le choix des études de toxicité se fasse en tenant compte des observations des médecins du travail.

5/ Lors de l'autorisation de la mise sur le marché d'un nanomédicament, un principe actif déjà autorisé soit considéré comme un médicament entièrement nouveau, susceptible d'une toxicité différente, s'il est porté par un « cargo » différent.

6/ Si des complications sanitaires, actuellement peu probables, devaient malgré tout survenir, le public en soit informé par la communauté médicale, quelles que soient les considérations économiques ou politiques. La confiance de la population en dépend.

Imprimeur IMPRIM'VERT® – Imprimé sur papier certifié écolabel européen

CAHIER D'ACTEUR SUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA RÉGULATION DES NANOTECHNOLOGIES

Association Française Transhumaniste : Technoprog !

Cette association s'est donnée pour objet de : « *diffuser les thématiques et les questionnements relatifs aux technologies susceptibles d'améliorer et de prolonger la vie des individus et de l'espèce humaine. L'association se propose de promouvoir ces technologies, liées notamment au fonctionnement corporel et aux conditions de vie, aussi bien dans les domaines scientifiques, philosophiques, artistiques, etc.* »
(extrait des statuts de l'association)

Nanotechnologies ? : une réponse transhumaniste

Aller au bout des questions essentielles

Les nanotechnologies sont assurément au cœur de la Convergence Technologique actuelle (dite souvent NBIC, pour Nanotechnologies, Biotechnologies, sciences de l'Information et science Cognitives). Celle-ci laisse envisager des transformations considérables.

Les débats en cours tentent de trouver un équilibre entre les possibilités portées par ces technologies et les exigences de contrôle et de précaution que nécessite l'arrivée de produits totalement nouveaux, dont on ne sait encore presque rien en terme de nocivité pour l'homme et son environnement.

Certains acteurs du débat argumentent en faveur des nanotechnologies, tombant parfois dans l'excès d'un optimisme quasi scientiste. D'autres expriment toutes les craintes, voire les phobies possibles face à ce qui peut être vécu comme un nouvel outrage à la Nature. Ils tombent dans l'excès du catastrophisme. Certains enfin, les plus nombreux sans doute, cherchent un juste milieu.

A tous néanmoins, nous voudrions adresser la réflexion suivante.

Dans le cadre du présent débat sur les nanotechnologies, on entend souvent dire que ces techniques sont susceptibles de changer jusqu'à la « nature » de l'humain et que donc elles entraînent des interrogations, voire des craintes légitimes. Il est dit aussi que les scientifiques ne répondent pas à la question : « pourquoi avons-nous besoin des nanotechnologies ? ». Ces mêmes scientifiques renvoient régulièrement la question en disant : « C'est un choix de société, cela relève de la société civile. »

Mais il parait bien rare que des propositions de réponses soient formulées…

COORDONNÉES

Association Française Transhumaniste : Technoprog !

4 rue de Brissac
75004 Paris

Tél. : 0677 855 733

http://transhumanistes.com

La révolution nanotechnologique pose des questions essentielles

La Convergence Technologique ne nous questionne pas seulement sur ce que seront les bons choix politiques ou économiques, sur ce qui permettra de respecter les équilibres écologiques ou sur ce qui garantira le mieux la santé publique.
La phase d'accélération dans laquelle nous nous trouvons d'ores et déjà engagés nous pousse à nous interroger sur des sujets qui mettent en question notre identité en tant qu'êtres humains :

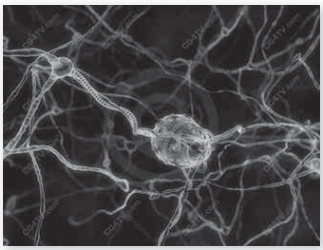
> Par les modifications qu'elle permet, cette phase d'accélération remet en cause des valeurs culturelles liées à ce que sont la Nature, l'Humain et l'Humanité.
Ainsi, sommes-nous amenés à nous demander à nouveau s'il existe une ou des caractéristiques propre à l'humain, et si oui quelles sont-elles ? ou encore, Qu'est-ce vraiment que l'état de Nature ?

> Cette nouvelle révolution porte également sur les modifications possibles des individus. Se pose alors la question de la liberté accordé à ces derniers et du degré de contrôle exercé par l'Etat. Considérons nous que l'Etat doit légiférer et décider du corps des individus ? Quelles seront les conséquences réelles des libertés accordées ou des interdictions imposées ? La loi doit-elle trancher, pour tout un pays , sur la base d'une philosophie, ou d'une tradition religieuse ou non ? Ou bien réguleronsnous en fonction des effets concrets que des individus modifiés auront sur la Société ?

La révolution nanotechnologique tend à des transformations radicales

Que les nanotechnologies tendent à modifier au fond la Nature, l'Humain et l'Humanité nous est montré par de multiples exemples.

Pour ce qui est de la Nature, c'est la définition même des Nanotechnologies qui le précise, puisqu'il est question de techniques (transformation de la nature par la main de l'homme) intervenant à l'échelle moléculaire ou atomique. Les matériaux nouvellement créés n'existent pas à l'état naturel. Ils possèdent des propriétés inouïes. Mais ce qui renforce leur aspect révolutionnaire, ce peut être, selon les matériaux ou les techniques, leur capacité à modifier le «naturel» qui les environne par leur propre fait. Dans le cas des matériaux, nous pourrions citer – côté optimiste, les projets de dépollution des hydrocarbures, ou – côté catastrophiste, le scénario de science-fiction de la «gelée grise» auto-répliquante à l'infini et susceptible de tout envahir.



© Studio CQ-TV

Nanorobot remplaçant un neurone.

Concernant l'Humain, les projets ne manquent pas non plus : Nanomédecine tout d'abord (thérapies pratiquées par des nanorobots injectés dans l'organisme, médicaments délivrés par nanocapsules) avec pour conséquence possible un allongement encore important de l'espérance de vie, mais bientôt, nano augmentations de tous ordres, grâce à des nano implants, afin d'améliorer les capacités motrices, perceptives ou cognitives du corps ou du cerveau. De telles perspectives amènent à s'interroger sur les conséquences, négatives ou positives d'une éventuelle diversification de l'espèce.
Il apparaît donc que de telles transformations peuvent avoir un impact sur notre « humanité », au sens de caractéristique de l'individu humain, ainsi que sur l'Humanité, ensemble de ces individus.

La révolution nanotechnologique exige une réflexion sur l'Humain

Il ne peut y avoir de réflexion sur les nanotechnologies sans réflexion sur nos objectifs finaux, lesquels dépendent de notre point de vue sur ce que nous sommes.
Les mêmes éternelles questions doivent être présentes à l'esprit de chacun :

Ontologiques :

> Y a-t-il un être Humain ?
> Qu'est-ce que l'Humain ?
> Qu'est-ce que l'Humanité ?

Ethiques :

> Quels sont nos objectifs ?
> Que faire pour les atteindre ?
> Dans quel cadre politique les décisions sont-elle prises ?

(Qui a le pouvoir de décision sur le corps des citoyens ?)

Une réponse «trans-humaniste»

Les réponses à ces interrogations sont bien évidemment nombreuses, anciennes, portées par des siècles de pensée religieuse, philosophique, spirituelle ou matérialiste. Il faudra essayer de faire émerger des consensus.
Mais pour l'instant, nous voudrions essayer de vous présenter une vision des choses, laquelle correspond à peu près à celle des personnes se réclamant, en France, du mouvement de pensée dit «Transhumanisme».

Y a-t-il un «être» Humain ? Qu'est-ce que l'Humain ? Qu'est-ce que l'Humanité ?

Pour les Transhumanistes, l'approche qui prévaut en général est celle du matérialisme. L'Humain n'est qu'un composé complexe de la matière. Il est le fruit d'une longue évolution biologique, mais, de même qu'il ne se situe pas à l'origine de cette évolution, il n'en constitue probablement pas la fin ! Il n'y a pas de raison pour que l'évolution qui est devant nous soit moins longue, et moins riche en péripéties que celle qui est derrière nous. Pour les Transhumanistes, il n'y a pas un «être» humain intemporel. Ils se placent donc radicalement dans le camp des partisans d'une «mutabilité» de l'Humain.
Cette mutabilité de l'Humanité, sa capacité à modeler sa nature tout autant que la Nature constituent à la fois un des traits essentiels de son identité et une des conditions nécessaires à sa survie à long terme.
Au contraire, rien de rationnel ne permet de prétendre à une quelconque immuabilité de la Nature, dont l'Humain et l'Humanité feraient partie intégrante.

Quels sont nos objectifs ?

Pourtant, les mêmes clament haut et fort leurs attaches humanistes. **Ils admettent que le but ultime de l'espèce humaine est simplement sa propre perpétuation.** Mais qu'est-il question de perpétuer si l'on admet que peuvent changer considérablement la pensée humaine et le support matériel qui l'abrite ?

C'est un débat en cours. Certains Transhumanistes sont à la recherche de ce qui pourrait être l'ensemble des critères qui feraient qu'une pensée soit infailliblement reconnue comme humaine. Ou bien, ce qui est « important » se trouve-t-il dans la continuité ? Ce qui importe serait que nous soyons à la source, que la prochaine évolution vienne de notre « origine » ?

Que faire pour les atteindre ?

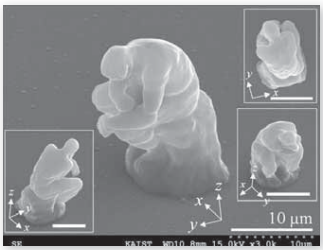
A partir de là, la réflexion sur l'usage des nanotechnologies, comme de toute technologie en général, s'éclaire : le développement des nanotechnologies est souhaitable dans la mesure où il participe à l'augmentation des possibilités de

l'humanité, où il contribue à perpétuer son existence et sa pensée.
Donc, les Transhumanistes français proposent de considérer que l'on peut assumer les responsabilités qui accompagnent les nouvelles possibilités offertes, que l'on peut chercher l'équilibre entre la liberté des individus concernant leur corps et l'effet des modifications sur la société ; que l'on peut enfin assumer la diversité des individus composants une société de tolérance.

Bien entendu, pour longtemps encore, il est hautement probable que la pensée humaine demeure liée au corps – plus ou moins celui que nous connaissons. Il sera donc nécessaire de préserver les équilibres dont ces corps dépendent : une planète viable, une ou des sociétés humaines suffisamment stables et dynamiques à la fois.

Notons bien qu'il n'y a pas urgence. L'Humanité n'est pas menacée au point d'avoir à tout prix besoin que ces technologies soient développées le plus vite possible quitte à prendre les plus grands risques.

Ainsi, **notre morale, et notre éthique, doivent être guidées par les impératifs écologiques, sociaux et politiques.**
Les nanotechnologies doivent être développées pour autant que leur emploi permet de renforcer les chances de perpétuation de la pensée humaine.



© Dong-Yol Yang et al., Applied Physics Letters

Comme toutes nouvelles technologie, les Nanotechnologies permettent aux artistes d'étendre leur champ d'expérimentation et de création. Ici, un «penseur de Rodin» à l'échelle nanométrique (sa hauteur est deux fois celle d'un globule rouge).

SYNTHÈSE

> Oui aux nanotechnologies dans tous les domaines, sans aucun tabou.
> Oui aux contrôles nécessaires lors des recherches, et dans tout processus en amont de la dissémination.
> Oui à la recherche systématique du recyclage en aval.

Dans tous les cas, cela signifie bien davantage de moyens pour la recherche.

cndp
Commission particulière du débat public
Nanotechnologies

CAHIER D'ACTEUR SUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA RÉGULATION DES NANOTECHNOLOGIES

Les Amis de la Terre

Au cœur du mouvement écologiste mondial depuis 1970, l'association les Amis de la Terre France est une fédération nationale d'associations territoriales, membre du Réseau International Friends Of the Earth, présent dans 77 pays et réunissant plus de 2 millions de membres. Elle œuvre pour la protection de l'homme et de l'environnement ainsi que pour la promotion de sociétés soutenables au nord comme au sud.

COORDONNÉES

Les Amis de la Terre – France
2B rue Jules Ferry
93100 MONTREUIL

Tél. : (33) (0)1 48 51 32 22
Fax : (33) (0)1 48 51 33 23
www.amisdelaterre.org

Un moratoire sur les nanotechnologies est aujourd'hui la seule solution raisonnable

Les Amis de la Terre ne veulent pas d'un Débat Public tronqué

La réflexion sur le développement des nanotechnologies ne peut se réduire aux seuls aspects, économiques, sanitaires et environnementaux même s'il s'agit de domaines cruciaux. Ces nouvelles technologies posent intrinsèquement un grave problème éthique : jusqu'où a-t-on le droit d'aller ? Des enjeux essentiels ne sont malheureusement pas du tout abordés, telles l'atteinte aux libertés individuelles ou la question de la propriété intellectuelle, car avec les nanotechnologies nous allons vers la privatisation du vivant, mais aussi de la matière inerte, voire de la matière hybride. L'occultation de ces points essentiels discrédite à elle seule les résultats des consultations antérieures. Pour les Amis de la Terre, le débat public doit impérativement aborder tous les aspects et y apporter des réponses dans le respect du principe de précaution.

Alerté depuis 2005 sur les conséquences préoccupantes des nanotechnologies – par des ONG internationales comme ETC Group (Canada), FOE (Amis de la Terre Australie, États-Unis, Europe) ou nationales comme Pièces et main d'œuvre, Fondation Sciences Citoyennes –, le réseau associatif français des Amis de la Terre a poursuivi une veille documentaire et a organisé différentes manifestations publiques afin d'informer les citoyens.

Le constat est alarmant

Alors que des nanomatériaux entrent déjà dans la composition de centaines de produits commercialisés, des études récentes mettent en évidences des risques majeurs pour la santé et l'environnement.
Les fonds alloués aux études toxicologiques sont dramatiquement dérisoires comparés à ceux octroyés aux applications des nanotechnologies. Exemple frappant : sur les 70 millions d'euros par an de fonds publics qui vont être accordés aux entreprises et centres de recherche dans le cadre du projet NanoInnov, pas un centime ne sera attribué aux études toxicologiques ; *« les nanotechnologies ne posent pas de problèmes nouveaux en matière de risques »* estiment les porteurs du projet. Les Amis de la Terre déclarent totalement irresponsable le discours dominant des politiques, des chercheurs et des start-up prétendant que les nanotechnologies sont inéluctables et qu'il faut « être dans la course » à tous prix.
Dans un contexte réglementaire absent, les nanotechnologies se sont développées sans débat public, laissant le champ libre aux industriels et chercheurs. Par cette absence de tout encadrement, les pouvoirs publics démissionnent d'une de leur fonction essentielle : réguler la société au service du bien commun.

Les Amis de la Terre / Friends of the Earth États-Unis listaient déjà, en juin 2006, 116 crèmes solaires, produits cosmétiques et de soins corporels, alors qu'ils n'étaient soumis à aucune étude de risque indépendante ni soumis à aucune réglementation. « *Des produits "miracles", nous en avons vus ! Ne serait-ce que l'amiante, le DDT, les PCB et encore la liste ne s'arrête pas là ! À voir l'incapacité de nos gouvernements à prendre au sérieux les premiers avertissements concernant les nanomatériaux, on peut penser qu'ils n'ont tiré aucune leçon de cette longue liste de désastres !* » ("Nanomaterials, Sunscreens and Cosmetics : Small Ingredients, Big Risks", Rapport disponible sur le site des Amis de la Terre :

http://www.amisdelaterre.org/Nanoproduits-petites-molecules.html)

Des risques sanitaires et environnementaux négligés

À l'échelle nanométrique, les particules ont des comportements inattendus et des effets toxicologiques inconnus. En février 2008, la revue *Toxicological Sciences* (« Nanotechnology Safety concerns», 101-2008) examinait de façon objective les études existantes, retenant les risques pour la santé auxquels les nanoparticules nous exposent en pénétrant dans le corps.

Par **inhalation** : les nanoparticules de dioxyde de manganèse, inhalées par le rat, se retrouvent dans les zones profondes du cerveau, provoquant un stress oxydatif qui peut altérer gravement les neurones et favoriser les maladies neurodégénératives.

Par **contact** : une peau irritée ou présentant une plaie semble ne pas être une barrière efficace. Alors que des nanoparticules sont utilisées depuis plusieurs années dans les cosmétiques, comme par exemple le dioxyde de titane dans les crèmes solaires, on a « oublié » par exemple – ce qui est un comble ! – que le TiO est photo dépendant toxique et qu'il peut provoquer des cancers de la peau et du colon !

Enfin, **l'ingestion** : chez le rat, on a constaté que, via l'intestin, les nanoparticules touchent le système immunitaire. Le tissu lymphoïde déclenche des réactions de défense exacerbées entraînant des réponses inflammatoires et un stress cellulaire avec son panel d'altérations susceptibles de provoquer des maladies graves – cancers, allergies, troubles neurodégénératifs .

Ces dangers entraineront à terme un coût social et humain largement négligé par les firmes qui commercialisent déjà ces nanoparticules.

Les nanotubes de carbone aussi nocifs que l'amiante !

Lors du Nanoforum du 23 octobre 2008, Marie-Claude Jaurand, Directeur de recherche à l'INSERM, a présenté les dernières études (américaines, japonaises, anglaises) sur la toxicité des nanotubes de carbone.

Leurs conclusions : « *mise en évidence d'effets similaires à ceux de l'amiante en ce qui concerne : réponse inflammatoire, production de lésions de l'ADN, formation d'aberrations chromosomiques, induction de mésothéliomes après exposition des cellules mésothéliales* ». Même si les études sont encore peu nombreuses, les résultats sont si alarmants que la firme japonaise Mitsui Chemicals a arrêté sa production de nanotubes de carbone à la publication des résultats.

Des matières reconnues dangereuses

Le rapport de l'AFSSET de juillet 2008 confirmait qu'« *au vu des incertitudes quant aux effets sanitaires des nanoparticules, il est prudent de déclarer les nanoparticules comme niveau de danger inconnu et les manipuler avec la même prudence que les matières dangereuses* ».

Des instituts de recherche sur **la sécurité des travailleurs** (INRS français et IRSST canadien) formulent les mêmes préoccupations et mises en garde : « *Quoique de grandes tendances se dessinent et démontrent de nombreux effets toxiques reliés aux NP, il ressort que chaque produit pourrait avoir une toxicité qui lui est propre. Les effets toxiques documentés sur des animaux de même que les caractéristiques physicochimiques des NP justifient, sur la base d'une approche de prévention et du principe de précaution, de prendre dès à présent toutes les mesures nécessaires pour limiter l'exposition et protéger la santé des personnes potentiellement exposées* » («Effets sur la santé reliés aux nanoparticules», IRSST, avril 2008).

De même, **les syndicats se mobilisent**, car le nombre de travailleurs exposés aux nanomatériaux risque de fortement augmenter dans les prochaines années, autant dans les laboratoires que dans les secteurs de production ou de transformation (pharmacie, cosmétique, matériaux, automobile, aéronautique, alimentation, agriculture, énergie, microélectronique, etc.). La Confédération Européenne des Syndicats, dans sa résolution sur les nanotechnologies et nanomatériaux du 25 juin 2008, affirme : « *Après le scandale de l'amiante, qui a fait des*

centaines de milliers de morts parmi les travailleurs, et alors que l'UE vient de se doter d'une nouvelle législation sur les produits chimiques qui reconnaît le principe du transfert de la charge de la preuve sur les fabricants, la CES ne peut plus accepter que des produits soient fabriqués sans connaître leurs effets potentiels sur la santé humaine et l'environnement ou, si tel est le cas, sans qu'une approche reposant sur le principe de précaution ait été mise en place et rendue transparente pour les travailleurs ». Position reprise le 23 octobre 2008 par la CFTC lors du nanoforum du CNAM : « ***pas de données, pas de marché*** ». Il n'existe pas encore d'équipements fiables pour protéger les travailleurs des nanoparticules, pas plus que de méthodes pour mesurer et caractériser l'exposition aux nanomatériaux !

Des études trop lacunaires sur des risques environnementaux pourtant avérés

L'Observatoire des micro et nanotechnologies soulevait déjà des données préoccupantes en février 2008 : « *Des altérations du développement embryonnaire ont été mises en évidence chez le poisson zèbre, ainsi que des troubles des capacités respiratoires chez la truite arc-en-ciel [...] certaines nanoparticules peuvent fixer et transporter des quantités importantes de substances contaminantes (arsenic, cadmium, etc.) et provoquer leur accumulation dans l'organisme de poissons comme la carpe, donc dans la chaîne alimentaire* ».
Les Amis de la Terre / FOE, dans leur rapport « Du labo dans nos assiettes : les nanotechnologies dans l'alimentation et l'agriculture », rappellent que « *des études environnementales récentes laissent penser aussi que ces namomatériaux peuvent être toxiques pour des espèces écologiquement importantes* ».
En février 2009, une équipe de l'Université de Clemson (USA) publie une étude (Uptake, translocation, and transmission of carbon nanomatérials in rice plants) mettant en évidence que le riz, exposé à des nanoparticules peut subir des impacts importants.

Ce ne sont sans doute que **les premiers signaux d'alerte...**
Quant à l'idée répandue que la production à l'échelle nanométrique serait écologique et propre, elle est mise a mal par une étude de l'université de l'Ohio (octobre 2008) qui montre que **l'impact environnemental du cycle de vie** des nanofibres de carbone pourrait être 100 fois plus important que celui des matériaux traditionnels.

Combien faudra-t-il encore d'études pour obliger les industriels à s'assurer de l'innocuité des nanomatériaux qu'ils produisent ? Combien pour que nos dirigeants osent enfin demander un moratoire pour appliquer le principe de précaution ? Faut-il attendre un – probable – scandale sanitaire ?

Contrôle social et dérives « post-humanistes »

Les nanotechnologies permettent la miniaturisation à l'extrême des RFID (*Radio Frequency Identification*), puces électroniques « intelligentes » pour nous suivre à la trace, amplifiant la surveillance des objets et des gens, limitant d'autant les libertés individuelles.
Les recherches pour l'augmentation des capacités humaines, avancées comme réponse aux maladies et aux handicaps, nous font craindre une dérive vers société où une minorité serait « améliorée », et l'autre pas. Où sera la frontière entre le soin et la transformation structurelle de l'humain ? **Le déploiement généralisé des nanotechnologies risque de liquider la perspective humaniste** qui fonde nos sociétés.

Tous cobayes d'un nouvel emballement industriel

Pour l'instant les principaux budgets en nanotechnologies sont alloués aux usages militaires et aux dispositifs de surveillance, mais les appétits économiques

Les Amis de la Terre/FOE Australie/Europe/États-Unis, publient en mars 2008 un rapport qui fait référence « **Du labo à nos assiettes : les nanotechnologies dans l'alimentation et l'agriculture** » où ils répertorient les produits intégrants des nanoparticules mais aussi les études démontrant la toxicité de ces nanomatériaux : « Il a été prouvé, par exemple, que les nanoparticules d'argent, de dioxyde de titane, de zinc ou d'oxyde de zinc – matériaux actuellement utilisés dans des compléments alimentaires, des emballages alimentaires et des matériaux en contact avec les aliments – sont hautement toxiques pour les cellules dans des tests in vitro ».

Version anglaise du rapport : http://nano.foe.or.au, Un résumé en français : www.amisdelaterre.org/IMG/doc/Resume_site.doc

sont considérables. Comme le constatait la trentaine d'associations réunies à Montpellier en novembre 2008 : « *Les scientifiques sont incités à breveter leurs découvertes et à créer des entreprises qui seront in fine absorbées par les grands de la biotechnologie qui possèdent les portefeuilles de brevets les plus conséquents* ». Une seule invention peut servir à une foule d'applications dans des champs connexes. Aussi assiste-t-on à une nouvelle ruée sur les brevets pour s'assurer le contrôle de la matière inerte et vivante. Ainsi progresse **une logique mortifère de privatisation et d'artificialisation des conditions les plus fondamentales de la vie.**

Sous prétexte d'innovation, les pouvoirs publics financent en priorité la recherche appliquée, pour de nouvelles technologies, asséchant tous les fonds au détriment d'autres explorations qui pourraient être plus utiles socialement. C'est ainsi que **le « technoscientisme » nous détourne de la résolution des véritables problèmes** de société qui indifférent les financeurs : les inégalités, la préservation du milieu, l'accès équitable aux ressources, l'éducation, etc.

> **Pour en savoir plus consulter nos rapports et communiqués de presse de notre site www.amisdelaterre.org**

SYNTHÈSE

Avant de débattre du développement des produits contenant des nanoparticules, il est indispensable que tous les problèmes – sanitaires, environnementaux, sociaux, économiques, éthiques – que posent ces produits soient traités en amont et qu'une réponse y soit apportée dans le respect du principe de précaution. Il ne saurait être question, à défaut de réglementation, de se contenter de « règles de bonne conduite ». **Pour les Amis de la Terre, un moratoire sur la recherche et la commercialisation des nanotechnologies est la seule attitude raisonnable.**

Imprimeur IMPRIM'VERT® – Imprimé sur papier certifié écolabel européen

cndp
Commission particulière du débat public Nanotechnologies

CFE CGC
Le + syndical

La CFE-CGC (Confédération Française de l'Encadrement - Confédération Générale des Cadres) est la première force syndicale représentative des cadres et du personnel d'encadrement. Elle est membre de Confédération Européenne des Cadres (CEC) qui est un partenaire social représentatif au niveau européen.

La CFE-CGC, indépendante de tout parti politique, s'adresse aux classes moyennes, tout en gardant sa spécificité qui est d'être la voix des techniciens, agents de maîtrise, forces de vente, cadres, ingénieurs et à ceux qui ont vocation à le devenir – c'est-à-dire, à des salariés dont les fonctions comportent responsabilité, initiative et/ou commandement dans les secteurs privé, para-public et la Fonction Publique.

COORDONNÉES

CFE-CGC
59, rue du Rocher 75008 Paris
Tél. : 01 55 30 12 12
Fax : 01 55 30 13 13
www.cfecgc.org

CAHIER D'ACTEUR SUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA RÉGULATION DES NANOTECHNOLOGIES

Les nanotechnologies : un nouveau saut technologique qui va révolutionner la production de biens et de services.

Les nanotechnologies regroupent l'ensemble des technologies permettant de construire et contrôler des objets à l'échelle du nanomètre soit **1 milliardième de mètre.** Dans wikipédia, il est précisé que « ***le nanomètre est utilisé pour mesurer les longueurs d'ondes comprises entre l'infrarouge et l'ultraviolet, et la finesse de gravure d'un Microprocesseur*** ». Les premiers secteurs utilisateurs sont ceux de l'électronique et de la médecine, mais l'ensemble des secteurs de production de biens et de services seront concernés demain comme ils le sont aujourd'hui par l'informatique.

Les nanotechnologies seront les emplois de demain

Un marché très concurrentiel, de plusieurs milliards de dollars, est en perspective à l'horizon 2020.

Les applications des produits et services issus des nanotechnologies vont se développer dans presque tous les secteurs. Les plus prometteurs, déjà existants, concernent les nouveaux outils miniaturisés de diagnostic médical, les traitements thérapeutiques ciblés sous la forme de nano vecteurs, les composants électroniques plus performants et plus économes en énergie. D'autres domaines sont ouverts grâce à des nanomatériaux plus solides, plus résistants, plus légers, dotés de propriétés jusque-là inconnues telle que l'auto-réparation…

La maîtrise des nanotechnologies constitue donc un enjeu stratégique pour notre pays, en termes d'emploi, de croissance et d'indépendance technologique. Il s'agit d'un nouveau « saut technologique », comme l'a été celui de l'avènement de la machine à vapeur en son temps ou de l'informatique plus récemment.

Études de marché : enjeux stratégiques

Même si la France se situe bien au niveau international en terme de technologies, elle ne sait pas toujours bien appréhender les potentialités du marché national/européen/mondial, ni fournir à un tissu de PME-PMI innovantes les informations stratégiques et les moyens leur permettant de se développer dans les secteurs les plus porteurs.

Une veille et une prospective performantes doivent être mises en place pour améliorer la pertinence des investissements en matière de recherche comme de production, dans les secteurs et les applications pour lesquels il y a un marché et pas trop de concurrents déjà engagés… Si tous les départements français et leurs équivalents anglais et allemands se mettent à investir dans la construction d'usines de fabrication de panneaux solaires, il est probable que beaucoup auront des déconvenues…

Ce document est édité par la CPDP, dans le cadre du Débat public sur les options générales en matière de développement et de régulation des nanotechnologies – Novembre 2009

Il est donc souhaitable de renforcer la coopération européenne en matière de recherche et d'identification des marchés porteurs. Compte tenu de la multiplicité des domaines d'application, il est probable que des PME-PMI performantes seront les plus à même à occuper rapidement les créneaux de marchés porteurs et à s'y développer.

Un Small Business Act français ou européen devrait accompagner les PME à tous les stades de leur développement pour les renforcer. Il est regrettable qu'en France, les PME soient stoppées dans leur développement pour des problèmes de trésorerie, ne leur permettant pas de financer leurs en-cours clients lorsque leurs commandes décollent.

Nous estimons que pour faciliter l'innovation, l'Union européenne devrait encourager les Etats à décentraliser les aides aux PME au niveau régional ou local, là où les administrations peuvent constater l'impact de ces aides. Les Etats devraient également réserver une partie des commandes publiques aux PME à l'image de ce qui existe aux Etats-Unis.

Mutualisation des investissements

Nous ne mutualisons pas assez nos moyens publics et privés pour optimiser les investissements en matière de recherche comme en matière de production, afin de mieux valoriser nos savoir-faire et notre ingéniosité.

La France dispose d'un financement public élevé de R&D et un soutien aux infrastructures de recherche. Aux Etats-Unis ou au Japon le financement privé de la recherche double le montant public. Le montant global alloué à la recherche pour les nanotechnologies est de 250 millions d'euros en France, à comparer aux 320 millions d'euros déjà engagés en Allemagne.

Notre système éducatif doit être amélioré ou repensé pour dispenser une formation à la hauteur des enjeux. **L'ingéniosité française doit être valorisée car les applications de demain sont inconnues aujourd'hui.** Il faut absolument revaloriser le rôle et les motivations des femmes et des hommes, acteurs de l'innovation et de la recherche, comme de la production et de la commercialisation, et en particulier celui des ingénieurs et des cadres qui subissent de plus en plus souvent une dévalorisation de leurs fonctions, suite à la taylorisation du tertiaire, et à la prééminence des objectifs financiers à très court terme.

Stimuler l'Innovation

Les nanotechnologies vont permettre une explosion des innovations. Il serait judicieux de repenser notre système de brevetabilité pour en accroître la simplification et l'efficacité et le mettre plus facilement à la disposition du plus grand nombre.

Une meilleure articulation entre recherche publique et privée doit être trouvée. Le soutien à la recherche fondamentale doit être renforcé en définissant des priorités claires. Il faut assurer une réelle coordination des recherches transdisciplinaires intégrant physique, chimie, biologie, médecine, sciences humaines...

L'innovation réussie en terme économique, est souvent le résultat de l'utilisation d'outils, de technologies et de connaissances issues d'un autre secteur. Il faut donc encourager les « trans-disciplinarités » et mettre en place un système gagnant/gagnant impliquant aussi bien le monde universitaire (comme aux Etats-Unis) les centres de recherche (public ou privé), l'état et les entreprises, sans oublier ceux qui sont au cœur de l'innovation, et qui sont très souvent « oubliés » à savoir les hommes et les femmes qui produisent les idées et qui les transforment en réalité. Le brevet n'est plus seulement un outil de protection juridique, il est aussi une arme de protection anticoncurrentielle et une source de profits potentiels très importants.

Limiter les risques

Les nanotechnologies sont porteuses d'espoir, mais comme pour tout, il peut y avoir de mauvais usages et des risques spécifiques nouveaux.

Il est indispensable de généraliser une surveillance systématique de la toxicité et des risques pour la société qui sont pris à l'occasion de la recherche, de la production et de la consommation des nanotechnologies comme cela doit être le cas pour n'importe quel produit ou service.

Depuis que le monde est monde, il y a toujours eu des utilisations néfastes de toutes les innovations. Les progrès de la science ont toujours fait apparaître de nouveaux risques ou des utilisations perverses de celle-ci. Des systèmes spécifiques de prévention, de contrôle ainsi que des règles et un processus de normalisation ont permis de réduire ces risques dans de nombreux domaines qui font partie de notre quotidien d'aujourd'hui. Que ce soit dans l'industrie pharmaceutique, l'agroalimentaire, le nucléaire ou l'informatique pour ne citer que ceux là, tout le monde convient qu'il y a des risques et que des mesures ont été prises pour protéger les citoyens en général et les salariés qui participent à la production de ces produits et services.

Dans toutes les activités, des risques existent lors des **trois étapes du cycle recherche/production/consommation, auquel il convient d'ajouter maintenant les étapes recyclage/destruction** qui étaient « ignorées » auparavant.

Nous savons aujourd'hui que le recyclage et la destruction de nombreux produits présentent des risques, que ce soit un paquebot ou des nanomatériaux. Le principe de précaution reconnu au niveau communautaire et consacré comme principe constitutionnel en droit français, doit s'appliquer de façon effective aux nanotechnologies comme à toutes les autres activités de production de biens et de services.

La surveillance systématique de la toxicité de tous les produits se justifie d'autant plus que la petite taille des nanoproduits ne permet pas d'en déceler visuellement la présence. D'autre part, combiné avec des traitements informatiques, certains usages pourraient s'avérer contraires à l'éthique ou pourraient générer de nouveaux risques psychosociaux.

Des questions se posent également sur l'impact environnemental des processus de production, sur les problèmes de transport, de stockage et de cycle de vie des nanomatériaux. On n'a que peu d'informations aujourd'hui sur leur interaction avec les systèmes vivants, de sorte qu'il est difficile d'évaluer le danger potentiel qu'ils représentent.

Comme pour d'autres innovations, les citoyens les premiers exposés sont souvent les salariés qui travaillent sur la recherche et la production de ces nouveaux produits.

Le renforcement de la surveillance de la santé des salariés est un impératif pour la CFE-CGC et le rôle des CHSCT (Comité d'Hygiène Sécurité et Conditions de Travail) doit être renforcé dans les domaines de la prévention des risques pour la santé physique et psychique des individus, sachant que le Grenelle de l'environnement a fait clairement apparaître le besoin de mieux prendre en compte également les risques pour l'environnement dont la prévention pourrait également être confiés aux CHSCT.

En matière de santé, la priorité est de développer les activités de recherche en toxicité et écotoxicité pour mieux identifier les risques liés à certaines activités ou certains produits.

Ce secteur manque de chercheurs formés. Les financements ne sont pas toujours suffisants, et des recherches fiables statistiquement nécessitent un grand volume d'informations qui ne sont pas systématiquement recueillies aujourd'hui.

Une évaluation du risque permettra de mieux cerner l'exposition des salariés à des dangers avérés pour la santé. Ce problème concerne notamment les salariés qui dans le cadre de leurs activités professionnelles sont en contact avec les nanotechnologies. Mais la plus grande difficulté est de savoir qui produit / utilise des nanotechnologies et quels sont les travailleurs qui sont réellement exposés ?

La déontologie des chercheurs, comme la transparence des résultats et des sources doivent être encouragées, en s'appuyant sur la recherche fondamentale et le partage des connaissances.

La prévention sanitaire en milieu professionnel est essentielle. Dans ce domaine, le rôle de la médecine du travail est incontournable. De plus, en raison de sa formation et sa présence dans l'entreprise, le médecin du travail est le plus apte à appréhender l'évolution de la santé physique et psychique des salariés. Il peut donc contribuer à l'acquisition des informations permettant d'identifier les risques pour la santé physique et les impacts psycho-sociaux liés à l'introduction de nouvelles technologies ou organisations.

Priorité : Protection des salariés

La CFE-CGC a proposé depuis plusieurs années la mise en place systématique d'un « curriculum laboris ». Véritable carnet de santé professionnel, ce document a pour vocation de retracer les expositions aux risques professionnels tout au long de la carrière du salarié.

Un tel système de recueil systématique des expositions individuelles permettra de favoriser la conduite d'études épidémiologiques au plan national. Ce dossier numérique serait géré par un organisme totalement indépendant de l'entreprise et du médecin du travail afin d'éviter toute possibilité de pression sur le salarié.

Les CHSCT ont un rôle primordial à remplir dans la prévention tout comme les organismes tels que l'AFSSET, l'AFSSA, l'INRS ou l'INERIS dont la responsabilité au niveau national est d'explorer les caractéristiques de ces nouveaux produits ou pour l'INVS d'en surveiller les conséquences médicales.

La puissance publique doit utiliser davantage son pouvoir normatif et réglementaire pour favoriser la mise sur le marché de produits moins agressifs pour l'environnement et non toxiques pour la santé humaine. **L'élaboration de normes européennes dans ce domaine serait d'ailleurs particulièrement utile pour à la fois prévenir des risques liés à l'importation de produits qui ne respecteraient aucune norme, mais également pour garantir aux citoyens un minimum de précautions prises avant la mise sur le marché de produits et services intégrant des nanocomposants.** Nous rappelons que les normes, notamment aux Etats-Unis, servent également de barrière d'entrée à d'éventuels concurrents « extérieurs ».

La méthode employée pour le règlement REACH pourrait encadrer les risques liés aux nanoparticules en introduisant des critères de dangerosité tels que la forte réactivité potentielle due à leur très grand rapport surface sur volume et la diffusion potentielle dans le corps humain.

Enfin, l'appréhension des questions éthiques et des risques psycho-sociaux doivent être intégrés dans les cursus de formation tout comme les méthodes et outils de mise en œuvre du principe de précaution, notamment en matière environnementale.
Il faut favoriser la création dans les laboratoires, dans les entreprises, les collectivités locales et avec les pouvoirs publics et le monde universitaire de lieux de débats éthiques, où chercheurs, ingénieurs et techniciens pourraient débattre et exprimer leurs questionnements.

cndp
Commission particulière du débat public Nanotechnologies

CNIL
Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés

CAHIER D'ACTEUR SUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA RÉGULATION DES NANOTECHNOLOGIES

Créée par la loi en 1978, la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) est une autorité administrative indépendante, dotée depuis 2004 d'un pouvoir de contrôle renforcé sur l'ensemble des traitements de données personnelles.
Jouant aussi un rôle d'alerte et de conseil, la CNIL a fondamentalement pour mission de veiller à ce que le développement des nouvelles technologies ne porte atteinte ni à l'identité humaine, ni aux droits de l'homme, ni à la vie privée, ni aux libertés individuelles ou publiques.

Peut-on encore être libre dans une société d'« hyper-traçabilité » ?

Les nanotechnologies entraîneront une révolution d'une ampleur comparable sinon supérieure au développement d'Internet. Elles permettent de façonner des objets à l'échelle atomique, à l'instar des puces RFID, aujourd'hui gravées à l'échelle nanométrique, et dont la taille les rend pratiquement indécelables. Passeports électroniques, titres de transport, et bientôt moyens de paiement sans contact, les RFID sont omniprésentes dans notre vie quotidienne et permettent de tracer nos déplacements. Des puces ou nano-puces seront peut-être bientôt implantées dans le corps humain. C'est même le cas dans certains pays, puisque certains se font déjà injecter des puces pour payer leurs consommations en boîte de nuit. À terme, les implants pourraient même devenir les outils incontournables de l'identification des personnes. De tels usages sont-ils acceptables par notre société ?

Bon nombre d'applications annoncées des nanotechnologies impliquent des traitements de données à caractère personnel. Cela amène naturellement à s'interroger au sujet des nouveaux enjeux qu'elles soulèvent en termes de protection de la vie privée et des libertés individuelles, ainsi qu'à propos des garde-fous à prévoir et de la capacité du cadre législatif actuel à répondre à ce nouveau défi technologique.

Face à ces technologies, invisibles et ubiquitaires, comment assurer, de façon effective, le respect des principes fondamentaux de protection des données à caractère personnel ? Comment garantir le caractère proportionné de leurs usages, la limitation de la durée de conservation des informations, ou la sécurité des données ? Selon quelles modalités assurer l'information des personnes et l'exercice de leurs droits ? Enfin, quel mécanisme de régulation faut-il prévoir ?

Les enjeux des nanotechnologies

Les principaux enjeux liés à l'essor des nanotechnologies résultent de la nature même de ces technologies (miniaturisation, dissémination, ubiquité) et de leurs usages potentiels. Comment contrôler ce qui ne se voit pas ? Même si leurs applications sont encore naissantes, il est impératif d'identifier dès à présent les risques qu'elles induisent.

> **Invisibilité :** l'informatique devient de moins en moins visible du fait de la miniaturisation des technologies. L'environnement tout entier devient ainsi dépositaire des données à caractère personnel d'un individu ; ces données peuvent s'échanger et être utilisées à l'insu de la personne qu'elles concernent. En outre, comment distinguer un objet naturel d'un objet auquel des composants nanotechnologiques auraient été ajoutés ?

COORDONNÉES

CNIL
Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés
8, rue Vivienne
CS 30223
75083 Paris cedex 02
Tél. : 01 53 73 22 22
Fax : 01 53 73 22 00
http://www.cnil.fr

Ce document est édité par la CPDP, dans le cadre du Débat public sur les options générales en matière de développement et de régulation des nanotechnologies – Octobre 2009

À la différence de la situation actuelle où l'information est davantage concentrée, ce qui peut la rendre plus facilement contrôlable, **comment être informé de l'existence, de l'objet et des effets d'une technologie invisible et dispersée ?**

> Traçabilité : l'ubiquité des nanotechnologies, c'est-à-dire leur dissémination massive combinée avec la possibilité d'interagir à distance avec des objets communicants, pourrait étendre considérablement les capacités de collecte de données personnelles. Ceci permettrait d'obtenir une connaissance étendue des déplacements des personnes ainsi que de leurs habitudes de vie et de comportement.
Comment s'assurer que le développement de ces technologies ne se fera pas au prix d'une « hyper-traçabilité » des personnes, remettant en question leur liberté d'aller et venir ? Car cette liberté n'existe plus si l'anonymat n'est pas garanti !

> Perte de maîtrise : le déploiement de nano-objets s'échangeant des données, voire même de poussières intelligentes se connectant à l'Internet des Objets, laisse d'ores et déjà entrevoir les difficultés de chacun à maîtriser les informations le concernant.
Comment l'individu pourra-t-il avoir accès à ses données et en contrôler l'usage ? Comment recenser et réguler les applications « nanotechnologiques » ? Comment s'assurer du respect du droit à l'oubli et du silence des puces ?

En outre, « l'intelligence » des nano-objets, c'est-à-dire techniquement leur logique programmée, les expose à un risque de détournement par l'altération de leur fonctionnement et donc de leur finalité. À l'instar des ordinateurs traditionnels, les nano-machines seront vraisemblablement victimes de virus et autres logiciels malveillants. En outre, les nano-objets induiront des bouleversements dans la gestion des communications du fait de la dilution de l'intelligence dans l'environnement. Ceci pourrait avoir pour conséquence une difficulté croissante à identifier l'origine d'une action ou d'une faille de sécurité.
Comment garantir la sécurité de manière à instaurer la confiance dans les nanotechnologies ?

Faire face à ces enjeux

Quelle régulation du développement des nanotechnologies ?

Même s'il mérite réflexion, le recours à la technologie RFID dans le cadre de l'assistance à des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer peut sembler légitime. En revanche, que penser des implants que certains se font déjà injecter dans le bras pour régler leurs consommations en boîte de nuit ? De tels usages sont-ils acceptables et ne risquent-ils pas de se banaliser de telle sorte que les nano-puces deviendraient ensuite les outils incontournables de l'identification des personnes ?

Notre droit assure certes déjà une protection effective des personnes face au développement des nouvelles technologies, qu'il s'agisse des lois de bioéthique, du code civil ou de la loi informatique et libertés. Mais cette protection est-elle suffisante ?

La pose d'implants nanotechnologiques peut constituer une atteinte à l'intégrité physique et morale des personnes. Or, plusieurs principes fondamentaux consacrent en droit français l'inviolabilité de la personne, dans son aspect à la fois corporel et incorporel. Par conséquent, hors obligation légale, l'atteinte à l'intégrité de la personne ne peut résulter que d'un consentement librement donné.

Mais le consentement ne saurait suffire à légitimer tous les usages des nanotechnologies, en particulier dans les cas où elles interagissent directement avec le corps humain. **En effet, le législateur ne devrait-il pas intervenir pour interdire certains usages ?**

Conformément aux missions de contrôle que lui a confiées le législateur, il incombera aussi à la CNIL d'apprécier la proportionnalité des applications de traitements de données personnelles mettant en œuvre des nano-objets communicants. Ne devrait-elle donc pas se voir confier un pouvoir d'autorisation en la matière, à l'instar des dispositifs biométriques ?

Mais, plus globalement, plus loin et plus grave encore, **les applications nanotechnologiques pourraient à terme entraîner une modification profonde des comportements individuels.** Les personnes, se sachant potentiellement tracées, écoutées ou observées à tout instant par les technologies, ne risquent-elles pas de s'auto-formater en fonction d'une norme sociale imposée, de fait, par la société de surveillance ? **Il s'agirait alors d'un véritable « clonage mental » !** Comme elle a su le faire pour le clonage humain, notre société devrait alors l'interdire !

Quelles règles pour assurer la protection des personnes ?

Les risques induits par les nanotechnologies nécessitent d'en maîtriser le développement en encadrant au plus tôt la recherche et en étant particulièrement vigilant sur leur évolution.

La CNIL considère qu'il est essentiel d'**intégrer les principes de protection des données et de la vie privée en amont, dès la conception des systèmes et des applications des nanotechnologies.** C'est une condition nécessaire à leur acceptation.

Mais au-delà, ne serait-il pas souhaitable d'établir dès à présent **une série de postulats et de règles,** inspirés des principes de protection des données et de ceux consacrant l'intégrité du corps humain ?

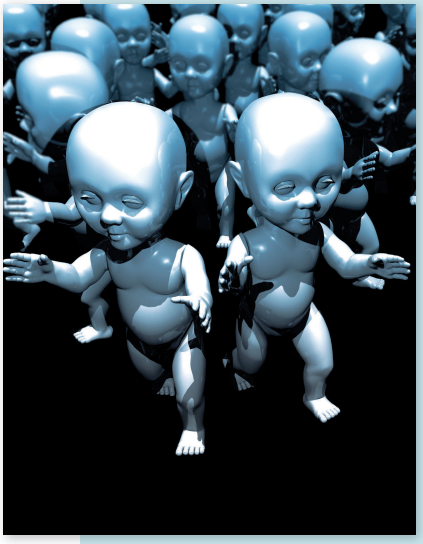
> Innocuité : les nanotechnologies ne doivent pas nuire à la santé ou à l'environnement. Ce principe, qui dérive de l'article 1er de la loi informatique et libertés mais aussi du principe de précaution, ne permettrait-il pas d'écarter toute application des nanotechnologies dès lors que les risques qu'elle présente en termes de toxicité ne sont pas correctement appréhendés ?

> Proportionnalité : étant admis que tous les usages possibles des nanotechnologies ne sont pas acceptables, ne conviendrait-il pas que le législateur définisse les limites à poser et que la CNIL voie ses pouvoirs de contrôle renforcés s'agissant des applications « nanotechnologiques » de données personnelles ?

> Maîtrise : pour que les utilisateurs gardent la maîtrise de leur sphère privée, ne faudrait-il pas concevoir les nano-objets communicants de manière à ce qu'ils ne puissent en aucune façon diffuser des données à l'insu des personnes ? Ne faudrait-il donc pas concevoir des outils permettant aux personnes de contrôler les échanges d'informations effectués par leurs objets ou nano-objets afin de mettre en pratique le « droit au silence des (nano)puces » ?

> Sécurité : les nanotechnologies doivent garantir la sécurité des données collectées, émises ou stockées, tant du point de vue de leur confidentialité que de leur intégrité. Les objets communicants traitant des données à caractère personnel ne devraient-ils pas intégrer la sécurité dès leur conception ?

> Information : Une information renforcée des personnes est de nature à garantir le développement des nanotechnologies dans un climat de confiance et dans le respect des principes de la protection des données et de la vie privée. La loi « informatique et libertés » place déjà l'information au cœur du dispositif de protection des personnes. Compte-tenu de l'invisibilité et de la dissémination des nanotechnologies, comment garantir que cette information est bien délivrée ? Faut-il par exemple envisager, comme pour les aliments comportant des OGM, que tout produit intégrant un nano-objet communiquant le mentionne de façon visible ? En outre, des actions de sensibilisation du grand public et des acteurs ne devraient-elles pas également être développées ?



Conclusion

Les nanotechnologies soulèvent des questionnements profonds d'ordre sociétal, éthique et juridique. La fusion sans précédent du vivant et de la technologie oblige à définir au plus tôt ce qui est acceptable et ce qui ne l'est pas, afin que les nanotechnologies ne portent atteinte « ni à l'identité humaine, ni aux droits de l'homme, ni à la vie privée, ni aux libertés individuelles ou publiques » (Art. 1er Loi Informatique et Libertés).

Enfin, face à ces défis, il convient **de promouvoir une approche multidisciplinaire dans le traitement de ces questions :** chercheurs, ingénieurs, juristes, sociologues, économistes, instances de normalisation, associations de consommateurs et de défense des libertés… tous doivent être présents dans ce débat qui engage l'avenir de notre société et de nos libertés individuelles.

SYNTHÈSE

Les principaux enjeux liés à l'essor des nanotechnologies résident dans la difficulté à contrôler ce qui ne se voit pas et dans la juste perception des risques qu'elles présentent notamment en termes de traçabilité des personnes et de respect de la vie privée.

Comment être informé de l'existence, de l'objet et des effets d'une technologie invisible et dispersée ?

Comment assurer que le développement de ces technologies ne se fera pas au prix d'une « hyper-traçabilité » des personnes remettant en question leur liberté d'aller et venir ? Car cette liberté n'existe pas si l'anonymat n'est pas garanti !

Plus globalement, les applications nanotechnologiques pourraient à terme entraîner une modification profonde des comportements individuels. Les personnes, se sachant potentiellement observées à tout instant par les technologies, ne risquent-elles pas de s'auto-formater en fonction d'une norme sociale imposée, de fait, par la société de surveillance ? Il s'agirait alors d'un véritable « clonage mental » ! Comme elle a su le faire pour le clonage humain, notre société devrait alors l'interdire !

En outre, il faudrait définir les moyens effectifs qu'un individu aura pour accéder à ses données et en contrôler l'usage. Comment recenser et réguler les applications « nanotechnologiques » ? Peut-on s'assurer du respect du droit à l'oubli et du silence des puces ?

Face à ces enjeux, il faut dès à présent s'interroger sur la régulation à envisager et sur une éventuelle évolution du cadre législatif (lois de bioéthique, loi informatique et libertés...). Faut-il interdire certains usages des nanotechnologies ?

Enfin, il convient d'identifier les règles de protection des personnes à promouvoir. Principes d'innocuité, de proportionnalité, de sécurité, d'information et de maîtrise des personnes sur leurs données : autant de garanties qu'il convient d'intégrer en amont, dès la conception des systèmes et des applications des nanotechnologies et selon des modalités à définir.

Il convient de s'engager dès maintenant à respecter ces règles de protection des personnes pour que les nanotechnologies ne portent atteinte « ni à l'identité humaine, ni aux droits de l'homme, ni à la vie privée, ni aux libertés individuelles ou publiques » (Art. 1er, Loi Informatique et Libertés).

Imprimeur IMPRIM'VERT® – Imprimé sur papier certifié écolabel européen

cndp
Commission particulière du débat public Nanotechnologies

CAHIER D'ACTEUR SUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA RÉGULATION DES NANOTECHNOLOGIES

Le Centre national de la recherche scientifique et le Commissariat à l'énergie atomique sont deux organismes publics de recherche. Le CNRS produit du savoir et met ce savoir au service de la société. Il exerce son activité dans tous les champs de la connaissance.
Le CEA, s'appuyant sur les progrès des connaissances fondamentales auxquels il contribue, développe des technologies innovantes pour les énergies à faible impact climatique, l'information, la santé, la défense et la sécurité.

COORDONNÉES

CNRS
Siège : 3, rue Michel-Ange
75794 Paris cedex 16
Tél. : 01 44 96 40 00
Fax : 01 44 96 53 90
http://www.cnrs.fr/
e-mail : presse@cnrs-dir.fr

CEA
Siège : Centre de Saclay
bâtiment 447
91191 Gif-sur-Yvette cedex
Tél. : 01 64 50 20 11
Fax 01 64 50 28 92
http://www.cea.fr/
E-mail : webmaster@cea.fr

Nanosciences et nanotechnologies

Le CNRS et le CEA au service de la société et de l'économie françaises

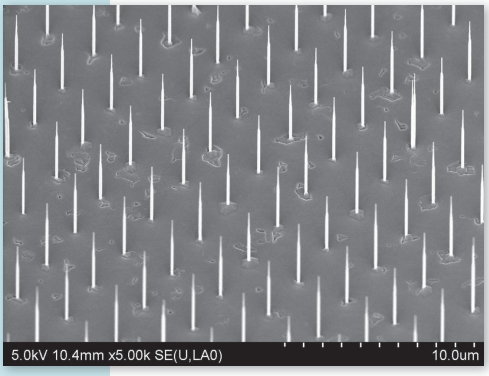
Salle blanche de l'Institut Léti à Grenoble, où sont fabriqués des nanosystèmes.

Le CEA et le CNRS travaillent en complémentarité dans les domaines des nanosciences et des nanotechnologies. Le premier surtout en recherche fondamentale, le second en associant recherche fondamentale et développements technologiques. Les travaux interdisciplinaires font appel aux spécialistes des nouvelles technologies de l'énergie, des sciences du vivant, des techniques de l'information et de la communication, des matériaux et de la sécurité. Les objectifs : l'approfondissement des connaissances, le développement d'innovations utiles pour la société et de technologies plus fiables. Les deux organismes travaillent sur ces sujets depuis plus de vingt ans, dans un contexte d'effort croissant de l'Etat, des régions et des collectivités locales. Une politique volontariste depuis dix ans a permis à la France de mettre en place un dispositif ambitieux d'infrastructures et de réseaux de recherche, qui la situe au meilleur niveau international. En 2009, près de 7 000 chercheurs travaillent en France sur les nanosciences et les nanotechnologies, dont 6 500 au CNRS et au CEA, ou en lien avec les deux organismes. Les « nanos » peuvent nous aider à évoluer vers une société plus économe en énergies et en matières premières. Les bénéfices ou les risques qui pourraient en découler ont amené les deux organismes à s'engager dans une approche responsable. La sécurité, comme les préoccupations éthiques et le dialogue avec la société, sont des éléments de cette approche.

Ce document est édité par la CPDP, dans le cadre du Débat public sur les options générales en matière de développement et de régulation des nanotechnologies – Octobre 2009

Les travaux du CEA et du CNRS dans les domaines des nanosciences et des nanotechnologies répondent aux grands enjeux de recherche et de société du siècle naissant. Impliquant 6 500 des 7 000 chercheurs dans ces domaines en France, le CNRS et le CEA placent notre pays au meilleur niveau international. La sécurité et l'éthique sont des préoccupations intégrées à leurs recherches.

P. Stroppa



Réseau ordonné de nanofils du semiconducteur GaAs sur un substrat en GaAs réalisé au CNRS-LPN. Les nanofils ont un diamètre de 50 nm, une hauteur de 5 microns et un espacement de 5 microns.

L'Etat a confié au CNRS et au CEA la mission de développer les nanosciences et les nanotechnologies au service de la collectivité nationale, en lien avec les universités et les industriels. Pour le CNRS, il s'agit en priorité d'exploration scientifique. Sa stratégie vise à approfondir les connaissances, à développer la créativité scientifique et technologique et à expérimenter « en amont » les potentialités d'application. Le CEA, ainsi qu'en partie le CNRS, associe science fondamentale et développement technologique. **L'objectif est de contribuer au développement d'une société économe en ressources naturelles et en énergie, porteuse d'une forte exigence de préservation de la santé et de l'environnement**. Dans le contexte de crise économique, les nanotechnologies sont pour les entreprises françaises et européennes une opportunité de conserver, voire de retrouver, leur compétitivité et créer leurs emplois. Le CNRS et le CEA apportent leurs moyens, leurs compétences et leur culture de recherche au service de la définition des politiques publiques et aux besoins des industriels et, plus globalement, au développement de l'économie nationale.

Le CEA et le CNRS développent prioritairement leurs activités de recherche en nanosciences et nanotechnologies dans cinq secteurs :

- **Les énergies à faible impact climatique**. Les recherches portent, par exemple, sur l'économie et le remplacement des matériaux rares pour les batteries ou le stockage de l'hydrogène, sur les cellules solaires bas coût, sur les matériaux d'isolation des bâtiments, ou encore sur des technologies propres et économes en ressources assurant la qualité de l'eau et de l'environnement.
- **Les applications médicales**. Par exemple les capteurs d'imagerie médicale, les outils miniaturisés de diagnostic précoce, les technologies d'assistance aux gestes médicaux et chirurgicaux, les matériaux pour la médecine régénérative ou les nouveaux médicaments.
- **Les technologies de l'information et de la communication**. La nanoélectronique succède à la microélectronique, avec des composants toujours plus petits, une consommation moindre et davantage de fonctions. De nouveaux usages deviennent possibles pour l'individu (communication mobile, Internet) et la collectivité (surveillance en temps réel des réseaux de transport, suivi par satellite des équilibres planétaires, prévisions météorologiques...). D'autres innovations sont explorées dans l'aide domotique aux personnes handicapées, ou le suivi médical personnalisé à distance.
- **Les sciences des matériaux**. Elles intéressent tous les secteurs scientifiques et technologiques. En transport aéronautique ou ferroviaire, par exemple, les nanomatériaux permettent de renforcer et d'alléger certains matériaux, ou encore

d'améliorer leur tenue aux conditions extrêmes. Les recherches portent aussi sur les surfaces des matériaux, afin de leur donner des propriétés particulières : inaltérables, imperméables, propres, nano-lubrifiées...

> **Les innovations techniques au service de la sécurité**. Elles concernent toutes sortes de domaines, des systèmes de détection d'agents biologiques aux transactions financières.

Depuis dix ans, l'Etat développe son soutien aux recherches en nanosciences et nanotechnologies. Il affiche une politique volontariste avec un effort financier croissant, soutenu par celui des régions et des collectivités locales. C'est ainsi que la France a mis en place un réseau de centres de compétences (C'nano), d'infrastructures mutualisées (salles blanches, plateformes de caractérisation…), de pôles d'innovation (Minatec, Nano-INNOV) et de structures spécialisées (veille scientifique, valorisation). Le CEA et le CNRS, au côté des acteurs académiques et industriels, sont les deux acteurs majeurs de ce réseau qu'ils ont contribué à créer et à financer. Les deux organismes disposent aussi de leurs propres structures, qui existent pour certaines depuis plus de vingt ans. En 2008, le CNRS a créé, au niveau de sa direction, la Cellule de nanosciences et nanotechnologies. En 2006, le CEA a créé le programme Nanosciences, transversal à ses cinq directions opérationnelles, pour une meilleure coordination interdisciplinaire. Au total, près de 7 000 chercheurs en France travaillent sur les nanosciences et les nanotechnologies. Environ 2 000 relèvent du CEA et 4 500 du CNRS (unités propres du CNRS et unités mixtes avec les universités, autres organismes de recherche ou entreprises). **Ce dispositif situe la France au meilleur niveau international**. Une illustration : le prix Nobel de physique 2007 décerné à Albert Fert, directeur scientifique de l'unité mixte de recherche CNRS-Thales.

Le développement des sciences et technologies ouvre des perspectives de transformation de notre société. Nos habitudes de vie et nos normes de jugement pourraient en être modifiées. Les bénéfices sont évidents, comme l'amélioration du bien-être et de la santé. Des inconvénients potentiels sont évoqués, comme de nouveaux risques pour la santé, l'environnement, le respect de la vie privée. La réponse à ces questionnements se trouve dans **la mise en place d'une démarche responsable**. Les organismes de recherche s'engagent à évaluer et maîtriser les risques, à étudier les effets des nanotechnologies sur l'homme et sur la société et enfin à renforcer les échanges entre scientifiques et citoyens. Ils travaillent ainsi sur les points suivants :

> **l'évaluation des risques liés aux nanomatériaux et leur maîtrise**, tout au long de leur cycle de vie, **pour la sécurité des personnes** (depuis la fabrication jusqu'au recyclage) ;

> **la réflexion sur une éthique à construire**, avec l'aide de philosophes et en complément des cadres légaux existants (expérimentation humaine, expérimentation animale, informatique et liberté…). L'éthique désigne l'ensemble des valeurs et principes qui régissent l'action individuelle et collective. La responsabilité est une des notions éthiques fondamentales. Elle éclaire la plupart des choix (de la maîtrise des risques au principe de précaution) ;

> **l'analyse des répercussions possibles des innovations sur la société** : usages nouveaux, développement durable, risques d'injustice sociale ;

> **le dialogue avec la société, formation des personnes**. Les deux organismes échangent avec le public, préoccupé et demandeur d'information.

Le CNRS et le CEA ont mis en place des approches différentes et complémentaires. Au CNRS, l'interdisciplinarité a été élargie à la participation de spécialistes des Sciences humaines et sociales (SHS). Le CNRS est également partie prenante dans les travaux de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE, qui regroupe les gouvernements attachés aux principes de la démocratie et de l'économie de marché). Plusieurs chantiers de réflexion sont en cours : élaboration et utilisation des produits « nanos » ; principe de précaution ; aspects juridiques. L'organisme a créé son propre comité d'éthique (le Comets). Dans les centres

Certaines des peurs liées aux nanotechnologies sont illustrées à merveille par des romans ou des films de science-fiction. Des êtres mi-homme mi-machine, des embryons sélectionnés à grande échelle sur analyse ADN, une gelée formée de nano-monstres qui se reproduisent... La science, ce n'est pas ça. Les scientifiques sont encadrés par des réflexions éthiques. La recherche sert l'économie et la société.

Louis Laurent, chargé de mission pour le Campus de Saclay, auteur de l'ouvrage « Les nanotechnologies doivent-elles nous faire peur ? », éditions Le Pommier, 2005.

« Étude de la toxicité des nanomatériaux (oxyde de titane, nanotubes de carbone), sur différents types de plantes au sein de l'Unité Mixte de Recherche CEA-CNRS Claude Fréjacques de Saclay. »

C'nano sont également mises en place des réflexions sur les aspects sociétaux. L'Institut écologie et environnement (Inée) a été créé en 2006 pour organiser la recherche sur l'environnement et le développement durable. Enfin, des analyses et des recherches portent sur les dangers pour la santé humaine et l'environnement : toxicologie et écotoxicologie, instrumentation analytique, prévention des risques, participation à la normalisation, soutien à la réglementation, etc. Ces actions du CNRS sont présentées et valorisées auprès du public. Le DVD « Nanosciences, nanotechnologies » est sorti à l'automne 2008, ainsi que le dossier pédagogique en ligne « Nanotechnologies et santé ».

Au CEA, l'orientation prise est d'intégrer la dimension éthique à la prise de décision et à la conduite des recherches. Dans le domaine des nanobiotechnologies, cette dimension est traitée dans les cadres réglementaires du monde médical. Dans les autres domaines, la réflexion est animée par le Larsim (Laboratoire de recherche sur les sciences de la matière), qui étudie la place de la science dans la société en lien avec l'Observatoire européen des nanotechnologies. A Grenoble a été créé Minatec Idea's Laboratory, qui mène des travaux de recherche communs avec les Universités Pierre-Mendès-France et Stendhal sur le développement des usages des nanotechnologies. Le Centre de sécurité des nanomatériaux étudie la métrologie des nanoparticules, qualifie des postes et des méthodes de travail sur nanomatériaux afin d'atteindre une absence totale d'exposition des travailleurs. Il développe des méthodes d'intervention en cas d'incident, analyse le cycle de vie des nanomatériaux. Le programme européen Nanosafe (2005-2009), coordonné par le CEA, a développé la première approche intégrée en sécurité des nanomatériaux. Le programme de recherche NanoTox étudie la toxicité humaine potentielle des nanopoudres. L'information et les échanges avec le public sont réalisés par des éditions d'ouvrages de vulgarisation, des expositions, des « bars des sciences » et des conférences grand public sur les centres de Grenoble et Saclay.

Parmi les initiatives communes lancées par le CEA et le CNRS, figure le groupement de recherche franco-américain I-CEINT (International Consortium for the Environmental Implications of Nanotechnology). Mis en place avec la National Science Foundation, élargi à neuf universités françaises et huit universités américaines, il étudie l'impact des nanoparticules sur l'environnement. Enfin, le CEA et le CNRS collaborent au sein de l'Institut national de l'énergie solaire (Ines) de Chambéry, sur des programmes liés au développement durable.

SYNTHÈSE

Le CNRS et le CEA sont les deux acteurs nationaux majeurs des recherches sur les nanosciences et nanotechnologies. Leurs travaux avec les universités et les industriels situent la France au meilleur niveau mondial : travaux propres et en partenariats, participation à des recherches européennes et internationales et mise en place de réseau de centres de compétences, d'infrastructures mutualisées et de pôles d'innovation.

Les deux organismes travaillent en complémentarité. Leurs recherches, du plus fondamental aux applications, soutiennent l'économie française et l'emploi. Les grands domaines de recherche sont les énergies à faible impact climatique, les applications médicales, les technologies de l'information et de la communication, les sciences des matériaux, les innovations techniques au service de la sécurité.

Chaque organisme a mis en place une démarche responsable, qui comprend l'évaluation des risques liés aux nanomatériaux et leur maîtrise, des réflexions éthiques qui réunissent scientifiques, économistes, sociologues et philosophes, l'analyse des répercussions possibles des innovations sur la société, la mise en place d'espaces d'information et de dialogue avec la société.

Imprimeur IMPRIM'VERT® – Imprimé sur papier certifié écolabel européen

cndp
Commission particulière du débat public
Nanotechnologies

FEBEA
FÉDÉRATION DES ENTREPRISES DE LA BEAUTÉ

CAHIER D'ACTEUR SUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA RÉGULATION DES NANOTECHNOLOGIES

La FEBEA est l'unique Syndicat professionnel des entreprises de beauté et de bien-être (parfumerie, cosmétiques, produits d'hygiène, de toilette, produits capillaires) reconnu au titre de la loi de 1884.

Elle rassemble plus de 250 entreprises, qui représentent l'essentiel du chiffre d'affaires du secteur.

Nanotechnologies et produits cosmétiques

Ce cahier présente les nanotechnologies utilisées en cosmétique et s'intéresse plus particulièrement au dioxyde de titane. Il donne également des informations relatives à l'évaluation de leur sécurité.

Les nanotechnologies en cosmétique

L'Industrie cosmétique a mis au point différentes innovations issues des nanotechnologies. Il s'agit de **nanodispersions liquides** et de **nanomatériaux.**

Les nanoformulations liquides

Ces nanoformulations regroupent des nano-émulsions et des nano-capsules.

Les nano-émulsions sont des préparations renfermant des gouttelettes d'eau ou d'huile de taille nanométrique, préparées à l'aide, par exemple, d'**ultra-sons**.

Les nano-formulations ont plusieurs avantages, en terme d'efficacité du produit d'une part, de texture d'autre part. En terme d'**efficacité**, elles permettent de protéger des éléments actifs mais fragiles à l'air, comme les vitamines, dans des systèmes nanométriques appelés liposomes ou nano-capsules.

Au contact de la peau, ces structures de taille nanométrique se désagrègent et libèrent les éléments qu'elles contiennent, préservés de l'oxydation. Les ingrédients actifs restent ainsi efficaces pendant la conservation du produit et sont libérés là où ils agissent.

En terme de **texture** par ailleurs, les nano-émulsions offrent la possibilité d'avoir des préparations à forte teneur en huiles (huiles nutritives dans les produits capillaires par exemple) sans l'inconvénient d'une texture grasse.

Les nanomatériaux

Le Règlement « Cosmétiques », voté le 24 mars 2009 au Parlement européen, introduit une définition du nanomatériau : un matériau non soluble ou bio-persistant, fabriqué intentionnellement et se caractérisant par une ou plusieurs dimensions externes ou par une structure interne, sur une échelle de 1 à 100 nm.
Parmi les nanomatériaux, le plus connu et le plus utilisé est le **dioxyde de titane** (TiO_2).

Ce filtre minéral est connu pour sa capacité à réfléchir, disperser et absorber les rayons ultra-violets (UV) et à protéger contre les effets délétères induits par une exposition prolongée au soleil. Il est utilisé dans les produits de protection solaire sous la forme de nano dioxyde de titane depuis bientôt 20 ans.

COORDONNÉES

FEBEA
137 rue de l'Université
75007 Paris
Tél. : 33(0)1 56 69 67 89
Fax : 33(0)1 56 69 67 90
Mail : febea@febea.fr
www.parlonscosmetiques.com
www.febea.fr

Le TiO_2 sous forme nanométrique présente un double avantage. C'est un filtre solaire plus efficace, notamment pour absorber les UV. En outre, le TiO_2 nanométrique est moins blanc, plus transparent que la forme micrométrique. Les consommateurs appliquent plus volontiers un produit de protection solaire qui ne rend pas le visage ou le corps «tout blanc».

En complément avec d'autres filtres, notamment organiques (chimiques), le TiO_2 est incontournable et permet d'obtenir des indices de protections solaires UVB et UVA très élevés, bien équilibrés, qui jouent un rôle essentiel dans la prévention des cancers cutanés.

L'évaluation de la sécurité de ces nanotechnologies

Les types de danger

D'un point de vue scientifique, les nanomatériaux sont questionnés sur deux types de risque : une **réactivité cellulaire et tissulaire** particulière en rapport avec leur très petite taille (pour la même quantité de matière, la surface de contact est plus grande), et un risque de **passage de barrières** physiologiques, comme la peau ou la barrière pulmonaire.

Par ailleurs, la même interrogation se pose s'agissant de la **dissémination** de ces particules dans les **écosystèmes**, leur histoire naturelle étant encore mal connue.

Évaluation de la sécurité - Nanoformulations

Les nanoformulations liquides n'exposent pas à ces risques. Les nanoémulsions et les liposomes sont des systèmes qui se désagrègent au contact de la peau et qui ne posent pas de problème de sécurité lors de leur utilisation en cosmétique (SCCP/1147/07, 18 décembre 2007). Les méthodes conventionnelles d'évaluation du risque sont suffisantes, car le caractère nano de ces éléments ne nécessite pas d'évaluation particulière.

Évaluation de la sécurité - Nanomatériaux

En ce qui concerne les nanomatériaux solides en général, le même avis du CSPC reprend les interrogations soulevées plus haut sur l'éventualité d'une plus grande réactivité moléculaire, sur le passage à travers des barrières naturelles et sur l'empreinte environnementale.

Dans le cadre des questions actuellement posées sur la sécurité des nanomatériaux utilisés en cosmétique, l'Industrie cosmétique poursuit ses travaux : des **études scientifiques** sont en cours afin de préciser les propriétés des nanomatériaux solides et d'en **confirmer l'innocuité,** notamment dans le cadre de REACh et des programmes mondiaux sur l'évaluation des nanotechnologies.

Le dioxyde de titane

Pour sa part, le dioxyde de titane a fait l'objet de nombreuses études.

Absence de passage transcutané du nano TiO_2

Une vingtaine d'études de la pénétration percutanée du TiO_2 sous forme nanométrique dont celles menées dans le cadre du programme européen de recherche **NANODERM**, ont montré que le nano-TiO_2 ne pénètre pas dans les couches vivantes de la peau. Ces études ont été conduites sur différents modèles *in vivo ou in vitro*, après administration unique ou réitérée, sur peau saine ou altérée, en utilisant de nombreux supports formulatoires différents, sur différents types de TiO_2 (enrobé ou non, forme et taille des cristaux différents), et par des acteurs aussi différents que des industriels, des équipes de recherche académiques et des agences gouvernementales.

En **Australie**, où le gouvernement est très sensible aux questions touchant à la protection solaire et où soixante-dix pour cent des produits de protection solaire contiennent des nanoparticules de dioxyde de titane, une revue exhaustive

de la littérature a été effectuée en 2006 par le Ministère de la santé. Cette revue a conclu à l'**absence de pénétration des nanoparticules de dioxyde de titane** en deçà des couches supérieures de la couche cornée de la peau. Cette conclusion a été confirmée en 2009.

Depuis ces études, on sait enfin que le TiO_2 nano ne reste pas sous forme nanométrique lorsqu'il est formulé mais qu'il s'agrège en agrégats et agglomérats de 1 à 3 microns.

Classification par le CIRC et risque pulmonaire et rénal

Le CIRC (Centre international de Recherche sur le Cancer, organe de l'évaluation de l'OMS) a émis l'hypothèse que le dioxyde de titane pourrait être cancérigène s'il entre en contact avec les cellules pulmonaires et l'a classé, en 2006, en 2B, **carcinogène possible chez l'homme, par inhalation**.

En effet, des études de cancérogenèse chez les rongeurs, dans la trachée desquels on dépose de grandes quantités de TiO2, montrent la survenue de cancers chez l'animal. A l'inverse, toutes les études chez l'homme, sauf une, ne montrent pas de surmortalité par cancer du poumon ni du rein chez les travailleurs exposés au dioxyde de titane.

Avis du Comité scientifique des produits de consommation

Le CSPC a évalué le dioxyde de titane (SCCNFP/0005/98, 24 octobre 2000) et a conclu que celui-ci est, dans un produit cosmétique, un ingrédient sûr.

Dans le cadre de sa réflexion sur les nanotechnologies, la Commission européenne a décidé de procéder à une nouvelle évaluation, spécifiquement de la forme nano. Cette évaluation est en cours.

Protection des travailleurs

Les ingrédients cosmétiques qui sont utilisés à l'échelle nanométrique sont obtenus de telle manière qu'il n'y a pas de contact avec l'homme lors de leur fabrication.

Ensuite, pour manipuler ces ingrédients, les laboratoires cosmétiques bénéficient de systèmes de protection adaptés et tout est mis en place pour éviter l'inhalation de ces matériaux.

De plus, un guide de Bonnes Pratiques de protection des travailleurs exposés aux nanomatériaux dans l'Industrie cosmétique est en cours d'élaboration.

L'Industrie cosmétique, pionnière de l'encadrement des nanomatériaux

Le Règlement « Cosmétiques », voté le 24 mars 2009 au Parlement européen, introduit un nouveau système d'encadrement des nanomatériaux.

Il impose à toute entreprise qui souhaite commercialiser un produit contenant des nanomatériaux, d'en informer, 6 mois avant la mise sur le marché, la Commission européenne. En cas de doute, cette dernière pourra requérir l'avis du Comité Scientifique pour la Sécurité des Consommateurs.

De plus, l'entreprise devra indiquer la présence de ces nanomatériaux dans la liste des ingrédients qui figure déjà obligatoirement sur tous les produits. Une règle d'étiquetage a été prévue à cet effet : nom de l'ingrédient [nano]. Cela donnera par exemple : Titanium dioxide [nano].

L'Industrie cosmétique est ainsi le premier secteur économique à se doter d'un encadrement spécifique des nanomatériaux.

Études sur la sécurité des nanotechnologies

NANOMATÉRIAUX ET NANOFORMULATIONS LIQUIDES

Avis du SCCP/114/07 du 18 décembre 2007
http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_sccp/docs/sccp_o_123.pdf

DIOXYDE DE TITANE

Nanoderm
Site officiel : http://www.uni-leipzig.de/~nanoderm/index.html
Etude sur l'absence de passage cutané du nano dioxyde de titane :
http://www.uni-leipzig.de/~nanoderm/Downloads/Nanoderm_Final_Report.pdf

Ministère de la Santé australien
http://www.tga.gov.au/npmeds/sunscreen-zotd.pdf

CIRC
http://monographs.iarc.fr/ENG/Meetings/93-titaniumdioxide.pdf

Avis du SCCNFP/0005/98 du 24 octobre 2000
http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/sccp/documents/out135_en.pdf

Imprimeur IMPRIM'VERT® – Imprimé sur papier certifié écolabel européen 100%

cndp
Commission particulière du débat public
Nanotechnologies

fondation SCIENCES CITOYENNES

CAHIER D'ACTEUR SUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA RÉGULATION DES NANOTECHNOLOGIES

La Fondation Sciences Citoyennes est une association loi 1901 créée en 2002. Elle a pour objectif de favoriser et prolonger le mouvement actuel d'appropriation citoyenne et démocratique de la science, afin de la mettre au service du bien commun. Sciences Citoyennes fait un double pari. Le premier est de réunir des chercheurs scientifiques critiques et des « profanes » engagés dans des luttes (sociales, médicales, environnementales) où ils rencontrent – voire contestent – la technoscience dominante et l'expertise officielle. Le second est d'unir, dans une réflexion et une action transversale de « politisation » de la science et de l'expertise, des acteurs impliqués dans des secteurs souvent compartimentés (agriculture, énergie, bio-médical, santé environnementale, technologies de l'information, brevetage...).
Trois axes de travail sont au cœur de son engagement :

1. l'accroissement des capacités de recherche et d'expertise de la société civile, des forces associatives, consuméristes, syndicales et citoyennes (création d'un tiers-secteur scientifique),
2. la stimulation de la liberté d'expression et de débat dans le monde scientifique,
3. la promotion de l'élaboration démocratique des choix scientifiques et techniques.

COORDONNÉES

Fondation Sciences Citoyennes
29 rue des Cascades
75020 Paris
Tél. : 09 54 06 54 09
Fax : 09 59 06 54 09
E-mail : contact@sciencescitoyennes.org
www.sciencescitoyennes.org

La démocratie face aux nanotechnologies et aux nanosciences

Pour faire la différence entre la démarche et les finalités scientifiques décidées par les citoyens et une croissance aveugle conçue comme un progrès uniquement technique

Résumé

La domination de quelques très gros acteurs sur la recherche publique et le secteur privé industriel n'a jamais été aussi forte. Leur souci du bien commun disparaît derrière une politique de puissance et de rivalité mimétique qui gaspille les ressources, entraîne de nombreux accidents et conflits et entrave le développement d'alternatives capables de répondre aux problèmes actuels.
Avec l'« ère nano », nous risquons de reproduire sans réfléchir l'impasse persistante du discours du « tout thérapie génique ». Allons-nous refaire les mêmes erreurs avec d'autres technologies à venir, ou alors saisir l'occasion d'un questionnement qui mettrait fin à cette répétition aveugle ? Les moyens financiers investis dans l'unique but d'accélérer le développement de ces technologies sont dépensés de façon unilatérale, ce qui exclut de facto tout débat public sur les approches alternatives des mêmes problèmes et toute réflexion globale. Non seulement les citoyens n'ont pas la possibilité de décider en connaissance de cause, mais de plus, ils ignorent que des nanoproduits sont déjà présents dans leur vie quotidienne (dans l'alimentation, les textiles, les cosmétiques, les matériaux de construction...), commercialisés sans aucune analyse de leur toxicité pour l'environnement et la santé humaine. Devrait-on laisser une application technologique, portée par des intérêts privés qui cherchent à la faire passer pour la seule source de progrès, s'imposer au point de changer fondamentalement la vie de la société ? N'est-ce pas à la société de faire des choix réfléchis sur son évolution dans des contextes environnementaux et sociaux en profond bouleversement, donc de décider si elle veut voir se développer telle technologie, et si oui, à quel point, dans quelle finalité et dans quel cadre éthiquement délimité ?
Cette question doit être le point de départ explicite de débats publics, de conventions de citoyens qui examinent la problématique des nanoproduits dans sa globalité, c'est-à-dire aussi leur utilité sociale, leurs conséquences sociétales, leurs rapport coût/efficacité et bénéfices/risques. Aborder la question dans son ensemble permettrait de faire des comparaisons avec des technologies alternatives et des approches non technologiques, afin de voir si ce sont vraiment les nanos qui apportent les meilleures réponses, si ces technologies représentent un progrès réel, et non seulement une illusion de discours.
Ce document critique à la fois le débat tel qu'il est mis en place actuellement et les choix stratégiques qui conduisent aux nanotechnologies, avec l'absence d'une vraie politique de recherche d'évaluation des risques et d'étude des alternatives.

Ce document est édité par la CPDP, dans le cadre du Débat public sur les options générales en matière de développement et de régulation des nanotechnologies – Octobre 2009

Contexte du débat

L'observation attentive des derniers événements dans le domaine des nano indique que :

1. Les nanotechnologies sont une priorité de l'état français depuis des années. En conséquence, les investissements en termes de recherche et développement étaient et seront importants.
2. Des nanoproduits sont fabriqués, mis sur le marché et diffusés dans l'environnement malgré une connaissance inexistante sur leurs risques pour la santé humaine et pour l'environnement, donc en l'absence de tout principe de précaution ;
3. L'acceptation publique sociale des nanotechnologies n'est pas considérée comme un préalable essentiel à leur développement. Autrement dit, le pouvoir économique cherche à obtenir cette acceptation coûte que coûte plutôt qu'à recueillir l'avis des citoyens dûment éclairés.

Moment du débat

Le débat arrive à un moment où la France a investi dans le développement des nanotechnologies depuis au moins une décennie. Les financements publics massifs aux niveaux national et régionaux, le nombre croissant de laboratoires académiques et industriels, la création de multiples structures scientifiques et industrielles – ces exemples montrent que **les nanotechnologies ne sont plus dans le berceau :**

> création du pôle d'innovation en micro- et nanotechnologies à Grenoble, Minatec, par le CEA en 1998 ;
> création du Réseau de Recherche en Micro et Nanotechnologies (RMNT) en 1999 ;
> mise en place d'une infrastructure pour les nanotechnologies (salles blanches et équipement) appelée réseau national de grandes centrales de technologies pour la Recherche Technologique de Base (RTB) en 2003 ;
> création de cinq centres régionaux de compétences (C'Nano) en 2004/2005 ;
> création de l'Observatoire des micro- et nanotechnologies (OMNT) qui assure une veille stratégique par le CEA et le CNRS en 2005 ;
> mise en place de plusieurs pôles de compétitivité fortement impliqués dans les nanotechnologies ;
> financement du programme NanoInnov à Paris, Grenoble et Toulouse pour 70 millions d'euros (2009) etc.[1]

=> Ce débat aurait dû se tenir il y a au moins dix ans.

Thèmes du debat

Suite aux faits soulignés ci-dessus et au cadre donné par la saisine, il est clair que le débat ne modifiera pas les réponses déjà données à des questions fondamentales telles que :

> Est-il souhaitable de poursuivre le développement des nanotechnologies à vocation civile ? Militaire ?
> Y-a-t-il des alternatives aux nanotechnologies ?
> S'il y a des alternatives, est-ce qu'elles bénéficient du même support financier de l'Etat ?
> Est-ce que les nanotechnologies répondent vraiment au mieux aux attentes et aux besoins des citoyens, ou est-ce qu'elles répondent surtout au besoin de compétitivité de l'industrie ?

Le débat évoquera à plusieurs reprises la question des **risques** sous l'angle de la toxicité des nanoparticules, la protection (de l'environnement, des consommateurs, des travailleurs) et la pollution. Ces questions sont fondamentales, et pourtant, la recherche réellement engagée pour analyser les risques est infime. Faute d'avoir développé des méthodes adéquates d'évaluation, nous n'avons pas de connaissances sur la toxicité de ces produits qui sont pourtant disséminés depuis dix ans, en particulier dans l'alimentation. Dans le cas des OGM, l'on a pu obliger Monsanto à rendre publiques des études partielles de toxicité dissimulées au public. Des études semblables n'existent pas sur la nocivité des nanoparticules. Et les lanceurs d'alerte sont actuellement dissuadés par tous les moyens (poursuites-bâillon, etc.) de briser la propagande officielle.

=> Ce débat est une opération de communication orientée vers la promotion du développement des nanotechnologies.

1. http://www.nanomicro.recherche.gouv.fr/fr/hist.html

Lieux du debat

Le débat national se tiendra à travers 17 réunions publiques dans de grandes villes françaises. La liste des villes qui accueillent les réunions donne l'impression que le point d'entrée des débats était plutôt choisi en fonction de la spécialisation de la recherche et des industries locales dans les nanoparticules. Il suffit de prendre l'exemple de Toulouse, Lille, Besançon, Grenoble et Orsay (Paris), qui sont les cinq centres du réseau national pour la Recherche Technologique de Base (RTB) focalisés sur les nanosciences et nanotechnologies. Sur l'agenda des débats dans chacune de ces villes figurent des thèmes portés par ces grandes centrales - les technologies convergentes sont le point fort à Orsay (Paris), le textile est un grand classique à Lille, etc.
Il est compréhensible de mener des débats thématiques là où sont les experts de la question et de les inviter à intervenir. Néanmoins, est-ce que ces experts ne risquent pas de défendre le domaine qui les rémunère pour leurs recherches ? Y aura-t-il d'autres experts invités pour les contredire afin d'assurer une approche pluraliste et contradictoire? Est-ce que les expertises non techniques et les expertises citoyennes auront la place qu'elles méritent?

=> Le débat risque de se réduire à une communication d'acceptabilité, à un satisfecit sans recul critique.

Le choix du mode de consultation du public

Le principe de participation du public est inscrit dans le système juridique français depuis 1995, suite à de nombreux conflits autour des grands projets nationaux d'aménagement du territoire et d'infrastructures. Ainsi, « un débat public peut être organisé sur les objectifs et les caractéristiques principales des projets pendant la phase de leur élaboration ».[2]
La Charte de l'environnement stipule dans son article 5 : « *Toute personne a le droit, dans les conditions et les limites définies par la loi, d'accéder aux informations relatives à l'environnement détenues par les autorités publiques et de participer à l'élaboration des décisions publiques ayant une incidence sur l'environnement* ».

Dans le cas des nanotechnologies, les dernières grandes décisions ont été prises juste avant le débat : ainsi, l'engagement de doubler le budget et de faire des nanotechnologies une des priorités de la recherche française.

On voit bien que le choix de ce mode de débat et de son calendrier n'a en rien pour objectif de faire participer le public à la prise de décision, mais bien de lui faire accepter celles déjà prises.
Pourtant il existe un mode de consultation du public permettant une expertise citoyenne exempte de conflits d'intérêts : ce sont les Conventions de Citoyens dont les principes ont été établis dans une proposition de loi rédigé par la FSC (http://sciencescitoyennes.org/spip.php?article1645).

Le Débat public ne permet pas d'évaluer objectivement l'avis de la population, car il cumule des opinions plus ou moins informées représentant souvent des intérêts particuliers incompatibles avec l'intérêt général. À l'évidence, pour qu'il soit argumenté, l'avis des citoyens doit se nourrir des informations les plus complètes possibles. La convention de citoyens, qui combine une formation préalable (où les citoyens étudient) avec une intervention active (où les citoyens interrogent) et un positionnement collectif (où les citoyens discutent en interne puis avisent), apparaît aujourd'hui, et après de nombreuses expériences mondiales, capable de réaliser ces objectifs. Le prix à payer pour cet exercice démocratique est la nécessité logistique de le limiter à un petit nombre de citoyens, tirés au sort, plutôt que de consulter la population entière.

=> Le gouvernement veut seulement prendre acte des avis produits par le débat public. Il n'y a pas d'obligation d'y répondre ou de les suivre.

Quelques éléments autour des nanotechnologies

L'estimation du marché des nanotechnologies d'ici à 2015 se chiffre à mille milliards d'euros, et les investissements en recherche et développement (R&D) sont passés de

2. Principes de la CNDP, http://www.debatpublic.fr/debat-public/principes.html

400 millions d'euros en 1997 à 3,5 milliards d'euros en 2003, avec une prévision de croissance de 40 % par an. Le nombre de nano-brevets est lui aussi en forte croissance et concerne tous les secteurs industriels. Aujourd'hui, plus d'une trentaine de pays investissent massivement dans ce domaine, dont la plupart des pays européens, les États-Unis, le Japon, et la Chine. Tout cela en laissant la société, les citoyens dans le flou le plus total quant aux finalités.

Le budget mondial alloué aux questions d'évaluation des risques, tout comme les études des effets toxiques des nanoparticules, notamment sur le long terme, restent insignifiants, de même que le budget en sciences humaines. Puisque les nanoparticules ne répondent pas aux lois de la physique classique, le principe d'équivalence en substance ne peut prévaloir : de nouvelles méthodes d'évaluation des risques, [et] notamment de la toxicité et de la dissémination de ces substances dans l'environnement, deviennent indispensables.

> Quels sont les effets de la bioaccumulation et de la persistance des nanoparticules dans les organismes et dans notre environnement ?

> Quels sont les modes de dispersion des nanoparticules dans notre environnement et quelles en sont les conséquences ?

FSC a produit une note sur le sujet http://sciencescitoyennes.org/spip.php?rubrique105

Propositions

1. Moratoire sur la recherche appliquée et la commercialisation des nanoproduits
2. Loi constitutionnelle instituant les Conventions de citoyens chaque fois que cela s'avérera nécessaire. Notre proposition de loi précise les modalités de recrutement et de formation des panélistes, et d'élaboration de leur avis, afin que celui-ci soit préservé aussi bien des opinions mal informées que des intérêts particuliers, et puisse aider les élus dans leurs décisions tout en informant de façon crédible l'ensemble de la population
3. Diversification et multidisciplinarité des recherches : 10 % des budgets de financements Nanos en Sciences humaines et sociales et 10 % des budgets de financements Nanos pour l'écotoxicologie, l'écologie et l'épidémiologie, recrutement de chercheurs dans ces disciplines
4. Publicité des débats : édition d'un registre des thèses sous embargo, d'un annuaire public des laboratoires publics et privés engagés dans les recherches Nanos et d'un annuaire des brevets Nanos déposés
5. Loi sur la mise en place d'une Haute autorité de l'expertise et de l'alerte, qui définirait le statut des experts, se chargerait de la limitation des conflits d'intérêts, de la mise en place d'une expertise pluraliste, contradictoire et des formes d'expertise citoyenne. Cette autorité assurerait la protection des lanceurs d'alerte et se saisirait des dossiers concrets d'alerte, afin de préserver l'intérêt général contre ceux particularistes qui s'imposent en cherchant à faire taire les lanceurs d'alerte et à empêcher des contre-expertises.
6. Financements et soutiens publics à la création d'un tiers-secteur d'expertise Nanos

SYNTHÈSE

Il ne peut y avoir de régulation du développement des nanotechnologies ni d'aucune innovation technique de grande ampleur sans une prise en compte globale des enjeux sociaux, environnementaux, sanitaires, économiques et démocratiques. Car ces technologies auront un impact inédit sur notre vie quotidienne et sur l'évolution de notre société. Si certains de ces impacts pourraient être théoriquement positifs, ces technologies contribuent à constituer ou modifier les systèmes de relations sociales sans que les populations ne puissent en décider ; et les expériences passées nous indiquent que les gouvernements sont impuissants du fait de leur ignorance, face aux pouvoirs publics et privés détenus par un nombre très restreint « d'experts scientifiques » qui seuls décident, parce qu'ils croient savoir.

La maîtrise de ces technologies ne peut qu'accroître le pouvoir de ceux qui les détiennent au détriment des autres, et leur commercialisation incontrôlable conduira inévitablement à de nouveaux monopoles, sans compter qu'aujourd'hui, on est incapable de déterminer les risques et encore moins les dangers que représentent ces objets pour l'environnement et la santé humaine.

Débattre des nanotechnologies dans les conditions telles que fixées par ce débat national nous semble plus relever d'une manipulation de la population, pour qu'elle adhère au développement irrémédiable de ce qu'on lui présente comme une source infinie de progrès, que d'une information objective.

cndp
Commission particulière du débat public Nanotechnologies

INRS
Institut National de Recherche et de Sécurité

CAHIER D'ACTEUR SUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA RÉGULATION DES NANOTECHNOLOGIES

L'INRS est une association loi 1901 sans but lucratif gérée par un conseil d'administration paritaire. Référence en matière de prévention des risques professionnels, l'Institut participe au développement de la culture « santé et sécurité au travail » au travers de ses cinq modes d'action complémentaires : études et recherche, assistance, formation, information et communication.

Nanotechnologies

Nanoparticules et nanomatériaux : un enjeu majeur pour la santé au travail

L'évaluation de l'exposition est un élément essentiel de l'évaluation des risques liés aux nanoparticules. Identifier les scénarios d'exposition, caractériser ce à quoi sont réellement exposées les personnes, doit être obtenu par l'intermédiaire d'études menées sur le terrain dans les entreprises ou les laboratoires. Néanmoins, c'est une tâche actuellement difficile car de nombreux instruments sont nécessaires pour obtenir les paramètres requis (composition, quantité, taille, morphologie, etc.).

Les besoins de recherche sont immenses et l'INRS, comme de nombreux autres instituts de recherche, se mobilise pour développer les connaissances sur la toxicité des nanoparticules et concevoir des méthodes fiables pour évaluer l'exposition.

Dans le cadre de la prévention des risques professionnels, compte tenu des nombreuses incertitudes, il est recommandé d'adopter une forme de précaution et d'instaurer des procédures spécifiques de prévention, qui seront actualisées pour tenir compte de l'évolution des connaissances.

COORDONNÉES

INRS
30 rue Olivier Noyer
75680 Paris Cedex 14
Tél. : (33) (0)1 40 44 30 00
Fax : (33) (0)1 40 44 30 99
Site web : www.inrs.fr

Ce document est édité par la CPDP, dans le cadre du Débat public sur les options générales en matière de développement et de régulation des nanotechnologies – Octobre 2009

Les nanoparticules sont des particules de composition et de formes variées, de très petite taille (inférieure à environ 100 nm). Leurs propriétés physiques et chimiques peuvent être bien différentes de celles de particules de même composition chimique mais de plus grande taille. Les nanoparticules forment généralement des amas plus ou moins compacts, stables et parfois de grande taille (quelques micromètres). Elles se trouvent sous différentes formes (poudre, suspension liquide, gel) et peuvent être incluses dans des matériaux composites (nanomatériaux).

Les nanoparticules et les nanomatériaux sont des produits chimiques préoccupants pour la santé et la sécurité au travail. Les règles de prévention du risque chimique définies par le code du Travail s'appliquent donc aux activités impliquant ces produits. La démarche de prévention exige entre autres de limiter l'exposition des salariés (confinement, zones de travail spécifique, protection collective et individuelle, formation) et d'en assurer la traçabilité.

Le danger d'un composé chimique est l'ensemble des propriétés qui ont le potentiel de causer des effets néfastes pour la santé. Propriété inhérente du composé, la toxicité ne représente qu'un élément du risque. En effet, le risque résulte de la combinaison de la toxicité et de l'exposition. Ainsi une bonne connaissance qualitative et quantitative de l'exposition est un élément essentiel de l'évaluation et de la gestion du risque.

Secteurs industriels et populations exposées

Les nanoparticules et nanomatériaux ne sont pas seulement une curiosité de laboratoire et certains sont déjà une réalité, puisque produits dans des tonnages élevés depuis des années, comme le dioxyde de titane, l'alumine, le noir de carbone ou la silice.

A ce jour néanmoins, seuls quelques procédés ont atteint un degré élevé de maturité industrielle et quelques produits relativement faciles à fabriquer se retrouvent commercialisés (cosmétique, textile, sport, bâtiment, transport). Les activités se situent encore à un niveau pilote dans de nombreux secteurs comme la chimie, la construction, le transport, l'énergie, l'électronique, la médecine, le textile, l'alimentation ou encore l'environnement.

Plusieurs études ont été conduites récemment pour tenter d'identifier et de dénombrer les populations potentiellement exposées au travail. Les résultats sont parcellaires. Il semble que ce soit l'industrie chimique qui ait le plus recours à l'utilisation de nanoparticules (environ 20% selon une étude réalisée en Suisse). Compte tenu du développement de ces nouvelles technologies, les populations de travailleurs exposés pourraient significativement se diversifier et croître au cours des années à venir.

Ces études ne donnent que très rarement une information quantitative des expositions (niveaux des concentrations, durée d'exposition, tailles des nanoparticules, etc.). Certaines informent toutefois sur les quantités produites, utilisées et stockées, les usages, les stratégies de prévention mises en œuvre au poste de travail pour protéger les opérateurs et l'environnement.

Sources d'exposition professionnelle

L'exposition peut se produire tout au long de la vie d'un produit, à savoir lors :

- de la synthèse (ouverture de réacteur, récupération de produit, conditionnement…) et la manipulation (échantillonnage, transvasement, vidange de trémie, mélange, transport, etc.) de nanoparticules,
- de l'élaboration de nanomatériaux (incorporation dans diverses matrices) et leur transformation (usinage, ponçage, etc.),
- du nettoyage et de la maintenance des équipements (réacteurs, sorbonnes, boîtes à gants, équipements de filtration…),
- de la collecte et du traitement des déchets.

En plus des facteurs liés au poste de travail, la forme sous laquelle se trouvent les nanoparticules (poudre, suspension liquide, gel, nanocomposite, etc.) et la capacité des produits à émettre dans l'air des aérosols lors de leur manipulation constituent des facteurs qui influent sur le niveau d'exposition. Enfin, l'exposition doit être envisagée lorsque l'activité est en fonctionnement normal mais également en mode dégradé ou lors d'incidents.

Effets sur la santé

Les connaissances sur la toxicité des nanoparticules manufacturées sont encore limitées. Elles sont le fruit exclusif d'études animales et de tests in vitro sur des modèles cellulaires dont les résultats sont difficilement extrapolables à l'homme.

L'étude des effets sur la santé des nanoparticules nécessite d'envisager les trois voies d'exposition potentielles que sont les voies digestive, cutanée et respiratoire, cette dernière étant

considérée comme la voie majeure d'exposition en milieu professionnel.

Il a été montré que certaines nanoparticules, dans des conditions expérimentales, sont capables de franchir les barrières biologiques et de migrer vers d'autres sites de l'organisme (phénomènes de translocation circulatoire et cérébrale). Les données toxicologiques actuelles, bien que parfois contradictoires, incitent par ailleurs à s'interroger sur les risques encourus, y compris pour des composés réputés inertes à plus grande échelle. Un certain corpus de connaissances est en effet en faveur de l'hypothèse d'une plus grande toxicité des nanoparticules, notamment en ce qui concernent les effets inflammatoires pulmonaires, comparativement aux particules micro- et macroscopiques de même nature chimique.

Les résultats de ces études doivent toutefois être examinés avec prudence. L'approche toxicologique conventionnelle basée sur l'existence de relations dose-effet où la dose est exprimée en masse est remise en question. En effet, dans le cas des nanoparticules, de nombreux paramètres autres que la composition chimique et la masse semblent contribuer aux effets toxiques et influencer la pénétration et le devenir des particules dans l'organisme. Sans vouloir être exhaustif, on peut par exemple citer la taille, le nombre et la forme des particules, leur surface, leurs propriétés chimiques de surface ou encore leur état d'agrégation.

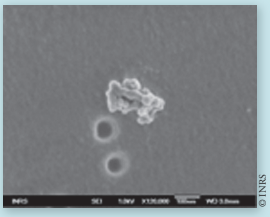
Au total, chaque produit synthétisé pourrait avoir des propriétés différentes. Dans un tel contexte, l'évaluation du danger reste difficile et des études complémentaires sont nécessaires.

Caractérisation de l'exposition professionnelle

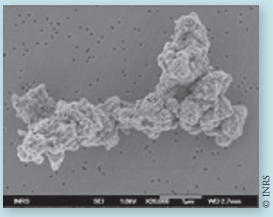
Habituellement, pour toute substance chimique sous forme d'aérosol et quelle que soit la taille des particules qui la composent, l'exposition professionnelle est caractérisée de manière quantitative par la concentration en masse (exprimée par exemple en mg/m3 d'air) associée aux gammes de tailles des particules qui pénètrent dans les différentes régions du système respiratoire (fractions inhalable, thoracique et alvéolaire). Pour les nanoparticules, les connaissances convergent vers le fait que, pour les substances insolubles ou faiblement solubles, les deux seuls indicateurs que sont la masse et la composition chimique semblent inappropriés et la question des critères de mesures de l'exposition en termes de gamme de tailles, de concentration et autres paramètres reste en suspens.

Concernant la gamme de tailles, il est prudent de considérer toutes les particules susceptibles d'atteindre les voies respiratoires et de s'y déposer. Cela concerne les nanoparticules individuelles (de dimension inférieure à environ 100 nm) ainsi que les agglomérats et agrégats – dont la dimension peut être supérieure à 1 µm – puisqu'il est probable que ce soit le caractère nanostructuré d'une particule qui pilote une réponse biologique spécifique. Pour le reste, il n'y a à ce jour encore aucune certitude pour mesurer telle concentration (en surface, en nombre ou en masse) ou tel paramètre (forme des particules, réactivité de surface, solubilité, charge…) plutôt qu'un autre en plus de la taille, de la composition et de la structure chimique.

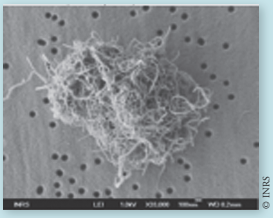
La recherche se poursuit afin de développer une méthodologie adaptée à la mesure de l'exposition professionnelle pour les nanoparticules. La stratégie de mesure recommandée repose sur la caractérisation de différents paramètres complémentaires, l'objectif étant que les résultats pourront être interprétés intégralement à la lumière des connaissances futures sur la toxicité et les effets sur la santé. Il existe à ce jour des instruments permettant d'obtenir directement ou indirectement un certain nombre de caractéristiques des nanoparticules, mais la majorité ont été conçus pour des applications de recherche plutôt que pour des mesures de terrain : la tâche est complexe et relève encore du domaine des spécialistes. Le développement de méthodes fiables constitue un des importants challenges pour ces prochaines années.


© INRS

Petit agrégat compact (~ 200 nm) de nanoparticules (~20 nm) de dioxyde de titane


© INRS

Gros agrégat compact (~5 µm) de nanoparticules (~20 nm) de dioxyde de titane


© INRS

Pelote (~2 µm) de nanotubes de carbone multiparois

Prévention des risques

Compte tenu des nombreuses inconnues liées aux nanoparticules et nanomatériaux, à leurs effets potentiels sur la santé et aux difficultés rencontrées pour caractériser l'exposition, une évaluation quantitative des risques s'avère difficile à mettre en œuvre dans la majorité des situations. Il convient donc, dans tous les environnements professionnels et tout au long du cycle de vie des produits, de développer un raisonnement basé sur la précaution et de mettre en place des stratégies de prévention adaptées :

> à la nature chimique et aux propriétés spécifiques du produit,
> à la quantité de produit fabriquée ou utilisée,
> aux procédés mis en œuvre,
> aux modes de travail,
> aux populations exposées.

Seront également pris en compte les risques d'explosion de poussières.

En l'état actuel, la prévention se réfère à la réglementation concernant le risque chimique (articles R. 4412-1 à R. 4412-58 du Code du travail) ; la démarche de prévention qu'il convient de mettre en œuvre est alors la suivante :

> optimiser le procédé pour limiter l'exposition (confinement et techniques mécanisées),
> utiliser la substance sous une forme moins encline à se disperser dans l'air (pastille plutôt que suspension, plutôt que poudre),
> utiliser des équipements vérifiés pour le captage à la source et la protection collective (intégrant des systèmes de filtration adaptés pour le rejet),
> employer un équipement de protection individuelle adapté,
> collecter et traiter les déchets,
> former et informer les salariés exposés,
> mettre en place un suivi d'exposition des salariés (types de nanoparticules, quantités, opérations et tâches, moyens de prévention, etc.).

Cette démarche de prévention exige donc, entre autres, de limiter l'exposition des salariés et d'en assurer la traçabilité. Cette démarche n'est pas très différente de celle qui est recommandée pour toute activité exposant à des produits chimiques dangereux. Une attention particulière doit être portée aux nanoparticules pour lesquelles il y a peu de données toxicologiques ou pour lesquelles les premiers résultats de recherche démontrent des effets biologiques inquiétants.

> **Pour en savoir plus, consulter le dossier « Les nanomatériaux » sur www.inrs.fr**

SYNTHÈSE

Face au développement des nanotechnologies, l'exposition aux nanoparticules concerne un nombre croissant de travailleurs. Les connaissances directement applicables aux nanoparticules étant limitées, les besoins de recherche appellent une réponse pluridisciplinaire renforcée et coordonnée au niveau national et international.
L'INRS se mobilise pour développer les connaissances et les mettre à la disposition de tous ceux qui, en entreprise, sont en charge de la prévention des risques. Sans attendre que toutes les questions soient réglées, les éléments aujourd'hui disponibles, mêmes parcellaires, sont suffisants pour recommander la prudence et la mise en place de procédures spécifiques de prévention adaptées à chaque environnement professionnel.

Imprimeur IMPRIM'VERT® – Imprimé sur papier certifié écolabel européen

13.5 Phrases résumant le contenu des cahiers proposées par les élèves

CNIL Les puces électroniques dans l'organisme, un projet à risques	3	FEBEA Le dioxyde de titane, molécule à découvrir	**0**
Transhumanistes La sécurité de l'humanité tout en permettant l'évolution	11	Sciences Citoyennes Place de la société et présence de risque dans le développement des nanotechnologies	0
CFE-CGC Les développements des nanotechnologies tout en protégeant la santé des salariés	8	Amis de la Terre Un moratoire est essentiel afin de faire plus de recherche sur la santé et l'environnement	7
Académie de médecine L'encadrement nécessaire des nanotechnologies ne doit pas freiner leur développement	9	CENG	
CNRS-CEA Les nanotechnologies permettent des progrès techniques et humanitaires	8	INRS Toxicité des nanotechnologies reconnues et les recherches primordiales	3

FIGURE 13.1 – Phrases proposées par les élèves pour réumer le(s) point(s) important(s) de leur cahier d'acteur. Les chiffres figurant à gauche de chaque proposition sont le résultat du "vote" qui a précédé la discussion finale. Ils correspondent aux nombres d'élèves considérant chaque proposition comme la ou les plus importante(s) à leurs yeux.

Chapitre 14

Documents de l'activité de recherches documentaires

Cette annexe contient dans l'ordre :
- la trame des consignes orales énoncées par l'enseignant
- les documents distribués aux différents groupes d'élèves pour guider leurs recherches documentaires c'est-à-dire :
  - les fiches présentant l'objectif de la séance, les consignes et les questions posées aux différents groupes d'élèves
  - la fiche d'évaluation des sources documentaires
  - l'un des tableaux que les élèves ont remplis au moment de leur exploitation des documents
  - la fiche servant à guider la préparation de leur préparation
  - la fiches où l'on demandait aux élèves leur opinion
  - les fiches de prises de notes que les élèves ont complétées durant les présentations orales
- les documents recueillis par les élèves.

Ici, nous n'avons pas fait figurer les cahiers d'acteurs de la fondation Sciences Citoyennes et de Sciences et Démocratie puisqu'ils sont disponibles dans l'annexe présentant les documents distribués aux élèves lors de la séance de jeu de rôle. Nous n'avons pas non plus fait figurer le dossier en ligne "sagascience" produit par le CNRS du fait de son format inadapté (http ://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosnano/ consulté la dernière fois le 16/01/13). Ne figurent pas non plus l'étude sur les nanomatériaux du ministère de l'économie, des finances et de l'industrie et le mémoire de master d'étudiants en logistique du fait de leur volume. Pour tout lecteur intéressé par la consultation de ces deux derniers dossiers, nous disposons de ces deux documents, accessibles sur demande.

14.1 Déroulement de la séance et consignes

Place dans la séquence : Activité 2 (Avant Nano@school)	Durée totale : 3H (minimum)

Finalité de l'activité pour les élèves	1. Chercher des informations et les comprendre pour pouvoir se construire une opinion informée sur les questions que posent les développements des nanos 2. Confronter les discours de différents acteurs pour se construire sa propre opinion
Matériel et salles	– Salle informatique avec accès Internet – Salle de classe où peuvent avoir lieu les présentations – Fiches de consignes élèves

Cette activité s'articule autour d'une recherche documentaire menée par petits groupes de 3 ou 4 élèves. Les élèves font des recherches sur Internet sur un thème (il y en a 5 en tout). Pour cela ils sont guidés par des questions et des fiches d'évaluation des documents.

Ils présentent ensuite les résultats de leurs recherches devant le reste de la classe.

Déroulement	Durée	Consignes
Présentation de la séquence	2'	– Objectif : L'objectif de la séance est de permettre aux élèves de se documenter pour comprendre un peu mieux ce que sont les nanotechnologies et quels sont les enjeux et les questions que suscitent ces développements. – Si la classe réalise un cahier d'acteur, l'introduire ici : L'objectif final de cette séance et de la séance suivante est de réaliser un cahier d'acteur d'une forme semblable à ceux étudiés lors de la séance de jeu de rôle. On souhaite donc que les élèves produisent un document qui reflète quels sont les enjeux des développements des nanotechnologies qui leur semblent importants. – Pour commencer, les élèves vont s'informer. Pour trouver des informations sur les nanotechnologies, ils vont effectuer une recherche documentaire sur Internet. – Déroulement : - Cette recherche documentaire va durer un peu plus d'une heure. Au cours de cette recherche, les élèves devront répondre par groupe de trois ou quatre à une série de 3 questions sur un thème. Il y a 5 thèmes différents *(voir doc pdf regroupant les documents élèves)*. - Suite à cette recherche, les élèves préparent une petite intervention d'environ 5 minutes pour rendre compte au reste de la classe des résultats de leurs recherches. - La séance se termine par un temps (~ 1H15) consacré à ces présentations. - Dans chaque groupe, tous les élèves contribueront à cette présentation orale. - Ce que les élèves présenteront servira à élaborer un "cahier d'acteur" de la classe reprenant le contenu des présentations et ce que les élèves pensent des différentes thématiques travaillées.

Déroulement	Durée	Consignes
Distribution des fiches balisant la recherche documentaire et explication de leur fonctionnement	10'	*Distribution des documents, tous rassemblés dans une pochette.* – Lecture de la fiche 1 "Recherche documentaire" avec les élèves (*Voir doc pdf regroupant les documents élèves - Comme tous les élèves n'effectuent pas tous la même recherche, on ne lira pas les questions.*) Il est très important que les élèves prennent le temps de bien lire les questions et de bien les comprendre plutôt que de foncer tête baissée pour chercher des documents sans trop savoir où ils vont. – Insister sur la durée que les élèves ont pour faire leurs recherches, et préciser si les élèves travaillent sur écran ou si ils peuvent imprimer des choses. (Lors de la séance où les élèves ont travaillé sur écran, ils se sont assez bien débrouillés) – Insister sur le fait qu'ils ne faut pas qu'ils se précipitent pour exploiter le premier document qu'ils trouvent. Il leur est largement conseillé de faire une présélection avant de remplir les fiches (et éventuellement d'imprimer leurs documents). – Sur la fiche 1, il est indiqué que les élèves ont le droit de retenir au maximum 5 documents. C'est un maximum. Ils ne sont pas obligés d'en retenir 5. En revanche, ils doivent en choisir au moins en choisir deux même si le nombre de documents peut varier car tout va dépendre de la longueur et du contenu des documents retenus. – Un même document peut apporter des éléments de réponse à plusieurs questions. – Pour tout document sélectionné et utilisé pour apporter des éléments de réponse aux questions, les élèves remplissent une fiche "Exploitation de document" (*Voir doc pdf regroupant les documents élèves*) – Cette fiche est imprimée recto-verso. Au recto, des questions permettent d'évaluer la source documentaire *(lecture avec les élèves)*. Au verso, un tableau reprend les différentes questions posées. Pour chaque document, les élèves remplissent un tableau par groupe. NB : prendre le temps d'expliciter les différentes rubriques de la fiche "évaluation de la source documentaire". Il est arrivé que certains élèves ne comprennent pas la question *"Avez-vous des informations sur les missions que revendique cet acteur ? si oui, quelles sont-elles ?"*

Déroulement	Durée	Consignes
		– Dans ces tableaux d'exploitation des documents, les élèves synthétisent les éléments de réponse contenus dans le document et illustrent chaque élément de réponse par des citations précises du document. Ce sont ces tableaux qui servent ensuite aux élèves de support lors de leurs présentations. – Même si le tableau comporte à chaque fois 3 cases, tous les documents ne permettent pas forcément de répondre à toutes les questions. Au moment de laisser partir les élèves ré-insister sur les contraintes horaires : les élèves ont ce qu'il faut comme temps, mais il ne faut pas traîner lors de leurs recherches documentaires.
Recherche documentaire	45'	*Recherches documentaires des élèves en salle informatique*
Pause	10'	
Fin de l'exploitation des documents et préparation des interventions	15'	Lorsque les élèves reviennent de pause, annoncer le temps qu'il leur reste (15 min) pour finir leurs recherches. Ils devront ensuite préparer leurs interventions devant le reste de la classe.
Préparation des interventions (suite)	15 min	– Les élèves disposent d'une fiche "conseil pour la préparation de votre présentation". (*Lecture avec les élèves*) – Sur cette fiche "conseil pour la présentation", ils n'ont rien à remplir ; elle est là pour les guider. Dans cette fiche, on leur parle d'une autre fiche "Quelle est votre opinion ?" qui se trouve au verso. *(Lecture avec les élèves de la fiche "Quelle est votre opinion ?")* – Insister sur le fait que c'est leur opinion argumentée sur le thème qu'ils auront étudié qu'on leur demande ici. – Insister sur les contraintes horaires : Les élèves ont 15 minutes pour remplir cette fiche et préparer leurs présentations. Les avertir qu'il ne faut pas traîner.

Déroulement	Durée	Consignes
Présentations (compter en moyenne 7-8 minutes par groupes d'élèves)	1H15	– Présentations dans la salle de cours en classe entière. Pendant la présentation, tous ceux qui écoutent vont prendre des notes. Ces notes doivent servir aux élèves pour pouvoir ensuite discuter de la construction d'un document de synthèse, un "cahier d'acteur" de la classe. Pour effectuer cette prise de note, ils disposent de fiches "prises de note" dans leur pochette ; il y en a une par personne. – Les élèves viennent ensuite au bureau de l'enseignant avec leurs feuilles (fiches document pour l'un, fiches exploitation pour l'autre et enfin, fiche "Quelle est votre opinion ?"). – L'enseignant présente le thème sur lequel les élèves ont travaillé, énonce les questions sur lesquelles ils ont dû plancher, avant de leur passer la parole aux élèves. Il s'efforce ensuite de faire expliciter leurs réponses aux élèves (explicitation des termes vagues, demande de reformulations et d'expliciation) et de leurs faire préciser d'où ils tirent leurs présentations.
Conclusion		Ouverture sur la prochaine séance consacrée à la finalisation d'un "cahier d'acteur de la classe".
		Suite à la séance, j'avais synthétisé le contenu de toutes les présentations des élèves dans un texte qui leur a été soumis à la séance suivante. *On pourrait imaginer aussi demander à chaque groupe d'élève de rédiger un petit paragraphe reprenant les réponses qu'ils ont apportées aux différentes questions ainsi que leur point de vue argumenté. Ainsi l'enseignant n'aurait plus, ensuite,* *qu'à rassembler les différents textes.*

14.2 Fiches distribuées aux élèves

Objectif

L'objectif de cette séance est de réaliser par groupe de 3 une présentation permettant au reste de la classe de comprendre quelles sont les questions sanitaires et environnementales soulevées par la fabrication et l'utilisation de nanoparticules et de nanomatériaux.

Elle doit renseigner l'auditoire de manière synthétique sur les questions suivantes :
- Qu'est-ce qu'une nanoparticule ? un nanomatériau ?
- Que sait-on des risques sanitaires et environnementaux liés à l'utilisation des nanoparticules et des nanomatériaux ?
- Quelles sont les réglementations existantes encadrant l'utilisation et la commercialisation de produits contenant des nanoparticules ?

Pour construire votre présentation vous avez besoin de documentation pour apporter des réponses à ces questions.

Vous allez donc rechercher des informations sur Internet par groupe de 3.

Documents

- Vous choisirez un nombre limité de documents : 5 différents au maximum par groupe, 2 au minimum. Le choix de ces documents sera discuté par tout le groupe.
- Pour chaque document retenu, vous les enregistrerez, après les avoir lus, dans un dossier "Nanos" que vous créerez sur le bureau.
- Pour chaque document retenu, vous remplirez une fiche "Fiche Exploitation de Document" dont vous avez plusieurs exemplaires dans votre chemise (1 fiche par document et par groupe).

Objectif

L'objectif de cette séance est de réaliser par groupe de 3 une présentation permettant au reste de la classe de comprendre quelles sont les questions que posent l'utilisation des nanotechnologies en médecine.

Elle doit renseigner l'auditoire de manière synthétique sur les questions suivantes :

- Quelles sont les perspectives ouvertes par l'utilisation des nanotechnologies en médecine ?
- Qu'est-ce que la convergence NBIC ?
- Quelles sont les interrogations suscitées par les différentes utilisations des nanotechnologies en médecine ?

Pour construire votre présentation vous avez besoin de documentation pour apporter des réponses à ces questions.

Vous allez donc rechercher des informations sur Internet par groupe de 3.

Documents

- Vous choisirez un nombre limité de documents : 5 différents au maximum par groupe, 2 au minimum. Le choix de ces documents sera discuté par tout le groupe.
- Pour chaque document retenu, vous les enregistrerez, après les avoir lus, dans un dossier "Nanos" que vous créerez sur le bureau.
- Pour chaque document retenu, vous remplirez une fiche "Fiche Exploitation de Document" dont vous avez plusieurs exemplaires dans votre chemise (1 fiche par document et par groupe).

Objectif

L'objectif de cette séance est de réaliser par groupe de 3 une présentation permettant au reste de la classe de comprendre les interrogations posées en matière de protection des libertés individuelles par les développements des nanotechnologies.

Elle doit renseigner l'auditoire de manière synthétique sur les questions suivantes :

- Qu'est-ce qu'un RFID et quel rapport y a-t-il entre les RFID et les nanotechnologies ?
- Pourquoi certains acteurs critiquent-ils l'utilisation de dispositifs d'identification ou de recueil d'information miniaturisés ?
- Quelles sont les questions que pose l'utilisation des RFID en matière de protection des données transmises ?

Pour construire votre présentation vous avez besoin de documentation pour apporter des réponses à ces questions.

Vous allez donc rechercher des informations sur Internet par groupe de 3.

Documents

- Vous choisirez un nombre limité de documents : 5 différents au maximum par groupe, 2 au minimum. Le choix de ces documents sera discuté par tout le groupe.
- Pour chaque document retenu, vous les enregistrerez, après les avoir lus, dans un dossier "Nanos" que vous créerez sur le bureau.
- Pour chaque document retenu, vous remplirez une fiche "Fiche Exploitation de Document" dont vous avez plusieurs exemplaires dans votre chemise (1 fiche par document et par groupe).

Objectif

L'objectif de cette séance est de réaliser par groupe de 3 une présentation permettant au reste de la classe de comprendre les questions que posent les développements des nanosciences et des nanotechnologies à nos démocraties.

Elle doit renseigner l'auditoire de manière synthétique sur les questions suivantes :

- Quels sont les arguments en faveur de la démocratisation des choix scientifiques et technologiques en matière de nanotechnologies ?
- Quels sont les défis que posent les nanotechnologies à nos démocraties ?
- Quelles sont les critiques formulées à l'encontre des procédures de consultation des citoyens qui ont été mises en place jusqu'à aujourd'hui sur les nanotechnologies ?

Pour construire votre présentation vous avez besoin de documentation pour apporter des réponses à ces questions.

Vous allez donc rechercher des informations sur Internet par groupe de 3.

Documents

- Vous choisirez un nombre limité de documents : 5 différents au maximum par groupe, 2 au minimum. Le choix de ces documents sera discuté par tout le groupe.
- Pour chaque document retenu, vous les enregistrerez, après les avoir lus, dans un dossier "Nanos" que vous créerez sur le bureau.
- Pour chaque document retenu, vous remplirez une fiche "Fiche Exploitation de Document" dont vous avez plusieurs exemplaires dans votre chemise (1 fiche par document et par groupe).

Objectif

L'objectif de cette séance est de réaliser par groupe de 3 une présentation permettant au reste de la classe de comprendre quels sont les enjeux économiques et sociaux des développements des nanosciences et des nanotechnologies.

Elle doit renseigner l'auditoire de manière synthétique sur les questions suivantes :

- Quels sont les secteurs industriels concernés ?
- Quelles sont les retombées attendues des nanotechnologies en matière économique et sociale ?
- Quelles sont les questions soulevées par les nanotechnologies en matière économique et sociale ?

Pour construire votre présentation vous avez besoin de documentation pour apporter des réponses à ces questions.

Vous allez donc rechercher des informations sur Internet par groupe de 3.

Documents

- Vous choisirez un nombre limité de documents : 5 différents au maximum par groupe, 2 au minimum. Le choix de ces documents sera discuté par tout le groupe.
- Pour chaque document retenu, vous les enregistrerez, après les avoir lus, dans un dossier "Nanos" que vous créerez sur le bureau.
- Pour chaque document retenu, vous remplirez une fiche "Fiche Exploitation de Document" dont vous avez plusieurs exemplaires dans votre chemise (1 fiche par document et par groupe).

- Adresse du site :

- Qui a écrit ce document ?

- Avez-vous des informations sur les missions que revendique cet acteur ? si oui, quelles sont-elles ?

- Quand ce document a-t-il été écrit ?

- Avez-vous des informations sur la manière dont sont financés les travaux de cet acteur ? Si oui, lesquelles ?

- Pour quelles raisons avez-vous choisi ce document et en quoi vous semble-t-il intéressant ?

Votre présentation doit permettre au reste de la classe de comprendre

- Quelles sont les questions auxquelles vous cherchiez à répondre (celles de la fiche 1) et quelles sont les réponses que vous y avez apportées ?
- Quels sont les documents que vous avez sélectionnés et pourquoi ?
- Vos positions et vos recommandations sur la thématique que vous avez travaillée.

Votre présentation doit avoir un contenu ciblé et précis.

- Vous avez seulement 5 minutes de présentation
  ⇒ Aller à l'essentiel
- Vous pouvez avoir à rapporter plusieurs prises de position sur un même sujet
  ⇒ Toujours bien préciser à l'oral d'où est-ce que vous tirez vos informations.

Enfin, tous les élèves du groupe de 3 participent à la présentation au reste de la classe :

- L'un présentera les documents retenus en s'appuyant sur les fiches "Evaluation de la source",
- Le second présentera les réponses aux questions en s'appuyant sur les "Fiches Exploitation de Document",
- Le troisième présentera vos positions et vos recommandations. Il s'appuiera pour cela sur la fiche "Quelle est votre opinion ?" (au dos de cette feuille) que vous aurez remplie collectivement tous les trois.

Quels sont les éléments de réponse apportés par les auteurs de ce document aux questions de la fiche 1 ? Vous synthétiserez ces éléments de réponse dans le tableau en les illustrant par des citations précises du document (1 tableau par groupe et par document).

Qu'est-ce qu'une nanoparticule ? un nanomatériau ?	
Que sait-on des risques sanitaires et environnementaux liés à l'utilisation des nanoparticules et des nanomatériaux ?	
Quelles sont les réglementations existantes encadrant l'utilisation et la commercialisation de produits contenant des nanoparticules ?	

Sur la thématique que vous avez travaillée, quelles sont vos positions et vos recommandations ? Chacune de vos positions ou de vos recommandations sera justifiée par un (des) argument(s) précis.

- Argument(s) :

- Argument(s) :

- Argument(s) :

Tout au long des présentations vous prendrez des notes et relèverez les différents éléments qui vous paraissent importants sur chacun des thèmes abordés.

- Questions sanitaires et environnementales :

- Utilisation en médecine :

- Protection des libertés :

- Gestion démocratique de ces développements :

- Aspects économiques et sociaux :

14.3 Documents récoltés par les élèves

ACTU ENVIRONNEMENT .com

L'actualité professionnelle du secteur de l'environnement

Dictionnaire Encyclopédique

Définition de Nanomatériaux :

«Nanotechnologie» est un terme générique qui décrit des applications dans de nombreux domaines scientifiques mais recouvre d'une manière générale la recherche sur les principes et propriétés existant à l'échelle nanométrique, c'est-à-dire au niveau des atomes et des molécules. L'objectif des nanotechnologies consiste à produire des objets ou matériaux inférieurs à 100 nanomètres. Ces nanomatériaux sont composés de nanoparticules qui, contrairement aux particules très fines d'origine naturelle ou provenant d'une combustion, sont produites intentionnellement. Les nanomatériaux peuvent être des métaux, céramiques, carbones, polymères ou encore des silicates qui présentent l'intérêt d'avoir des caractéristiques spécifiques par rapport aux mêmes matériaux à l'échelle macroscopique. L'acquisition de ces nouvelles propriétés physico-chimiques ouvre ainsi un immense champ de recherches fondamentales et appliquées regroupées sous l'appellation de «nanosciences».

Retrouvez "Nanomatériaux" dans l'actualité.
Définitions connexes :

- Nanotechnologie
- Nanoparticules

© Tous droits réservés Actu-Environnement
Reproduction interdite sauf accord de l'éditeur.

Retour

Actu-Environnement
© 2003 - 2012 COGITERRA - ISSN N°2107-6677
Actu-Environnement adhère au Centre Français d'exploitation du droit de Copie (CFC).

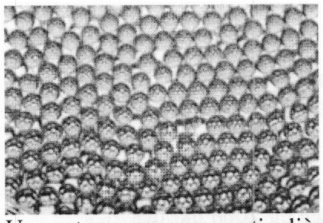
[Ex Asso. Fra. Transhumanisite]

?!

01/2010
Réagissez : Donnez votre avis
Partagez :
J'aime 4 0
Tweeter 0

Actuellement en plein essor, les **nanotechnologies** trouvent leur application dans de multiples produits (médicaments, emballages alimentaires, équipement sportif et électronique, pièces autos, etc.). Exploitant de nouvelles techniques pour manipuler la matière à l'échelle des atomes et des molécules, elles sont en effet à la base de nombreuses innovations, créant des produits plus résistants ou pénétrants.

Cependant elles font l'objet de **nombreuses controverses** : de plus en plus d'études démontrent les risques pour l'homme et pour l'environnement engendrés par l'exposition à des nanoparticules aux propriétés novatrices.



Un secteur concerne particulièrement les consommateurs : la cosmétique, dont de nombreux produits à base de nanoparticules ont été développés avant d'être remis en question. Zoom.

1. Nanoparticules en cosmétique : où les trouve-t-on ?
2. Nanoparticules et cosmétiques : quels dangers ?
3. Que disent les étiquettes des cosmétiques ?
4. Comment éviter les nanoparticules dans les cosmétiques ?

Nanoparticules en cosmétique : où les trouve-t-on ?

Depuis plusieurs années, les fabricants de produits cosmétiques incorporent des éléments dits nanométriques dans leur formulation : certains ingrédients sont en effet réduits à l'état de **nanoparticules**, c'est-à-dire des particules mesurant moins de 100 nanomètres (en savoir plus), environ 100 000 fois plus petites que l'épaisseur d'un cheveu et qui auraient des propriétés chimiques et physiques différentes de particules de taille plus importante.

Objectif : faciliter leur pénétration et améliorer le confort d'utilisation des produits.

Crèmes hydratantes, produits de maquillage, shampoings, dentifrices, parfums… tous les cosmétiques sont concernés. Ainsi **3 % des cosmétiques en Europe** contiendraient des nanoparticules. Produits plus particulièrement visés : **les crèmes solaires**, envahies par les nanoparticules (dioxyde de titane ou oxyde de zinc notamment), qui leur permettent d'être plus fluide et de ne plus former de dépôts blancs à la surface de la peau tout en étant performantes contre les U.V.

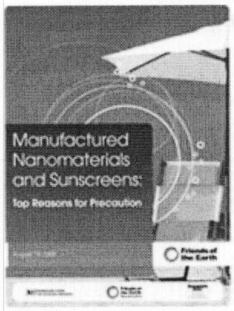
Nanoparticules et cosmétiques : quels dangers ?

Longtemps présentée la solution "miracle", la présence de "nanoparticules" dans nos produits cosmétiques est aujourd'hui largement contestée en raison des risques pour la santé, pouvant pénétrer dans l'organisme et induire des effets toxiques.

Les études scientifiques sont ainsi de plus en plus nombreuses à démontrer la **nocivité des nanoparticules** présents dans nos cosmétiques, et plus précisément dans nos produits solaires, appliquées sur des peaux **fragilisées ou lésées par les effets du soleil** :

- L'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset), dans son Bulletin de veille scientifique de décembre 2009, a résumé une étude menée en 2008 par des chercheurs américains qui montre que des nanoparticules sont capables de passer la barrière cutanée dans le cas de peaux lésées suite à des expositions aux rayons U.V, pouvant s'accumuler dans le derme et être toxiques. Conclusion de l'Afsset : "*ces résultats incitent à **prendre des précautions** lors de l'utilisation de cosmétiques contenant des nanoparticules, en particulier sur des peaux endommagées*".

- Concernée depuis plus de 3 ans par ce débat, l'ONG Les Amis de la Terre a publié un rapport en août 2009 en direction des consommateurs et qui souligne le manque d'analyse sur les dangers des nanoparticules alors que de premières études ont montré que la taille des nanoparticules augmentait leur capacité à pénétrer dans nos tissus et organes. Ils en appellent ainsi à plus de tests et de transparence avant la commercialisation de produits à base de nanoparticules (voir le rapport en anglais).



Des études contradictoires mais appelant à la précaution

Si, dans un rapport datant de juillet 2009, l'organisation américaine de défense des consommateurs Environmental Working Group (EWG) fait référence à 16 études pour indiquer une absence de pénétration cutanée pour les nanomatériaux à base de titane et de zinc, elle déconseille fortement l'utilisation de nanoparticules pour les écrans solaires vendus sous forme de **poudres ou vaporisateurs** en raison de la possible toxicité de leur inhalation...

On le voit : les données sont parfois contradictoires mais pourraient conduire à l'application d'un principe de précaution. Depuis 2007, la France organise d'ailleurs des rencontres entre experts et grand public dans le cadre de Nanoforums (voir le site), pour informer et réfléchir sur l'utilisation des nanoparticules.

DÉBAT PUBLIC nano technologies JE M'INFORME, JE M'EXPRIME

Nanoparticules : un danger aussi pour l'environnement

Des études révèlent aussi la toxicité des nanoparticules pour les écosystèmes (notamment aquatiques). En mars 2009, une étude de l'Université de Toledo (Ohio) sur le dioxyde de titane (TiO2) présent dans certains cosmétiques affirme que ces nanoparticules, présentes dans les eaux traitées dans les stations d'épuration, seraient capables d'éliminer les micro-organismes qui jouent un rôle vital dans les éco-systèmes et participent au traitement de l'eau.

Lire la suite

A Lire également : notre dossier Beauté- Santé bio

Réagissez : Donnez votre avis
Partagez :

J'aime 4 0

Tweeter 0

Aucun commentaire, soyez le premier à réagir ! Donnez votre avis

Moi aussi je donne mon avis

Nom

[Ex = Association Française Transhumaniste]

- 1 Les nanoparticules
  - 1.1 Définition des nanoparticules
  - 1.2 Nanoparticules - Le monde de l'infiniment petit
  - 1.3 Que sont les nano-matériaux
  - 1.4 Dans quel produit trouve-t-on des nanoparticules
    - 1.4.1 Nanoparticules et Matériaux antimicrobiens
  - 1.5 Les nanoparticules dangereuses pour la santé
    - 1.5.1 Jusqu'où les nanoparticules peuvent-elles pénétrer dans un organisme du fait de leur taille ?
    - 1.5.2 La translocation des nanoparticules
  - 1.6 Les Nanoparticules et la barrière encéphalique
  - 1.7 Nanoparticules et crèmes solaires
    - 1.7.1 Incertitude.
  - 1.8 Comment éviter les nanoparticules dans vos cosmétiques
  - 1.9 Nanoparticules : un danger aussi pour l'environnement
- 2 L'utilité des nanoparticules
  - 2.1 au sujet des nanoparticules

Les nanoparticules

Définition des nanoparticules

On appelle nanoparticules des particules de matière de quelques millionièmes de millimètre. Les nanoparticules sont des particules ultra-fines (PUF) dont au moins une dimension est comprise entre 1 et 100 nanomètres (milliardième de mètre). Leurs propriétés physiques, chimiques, voire biologiques découlent spécifiquement de cette taille nanométrique. Les nanoparticules sont très présentes dans notre environnement, notamment le noir de carbone, c'est à dire les particules émises par les véhicules diesel.

Nanoparticules - Le monde de l'infiniment petit

Un nanomètre (nm) est un milliardième de mètre. Le préfixe « nano » devant un mot (nanotechnologies, nanomatériaux, nanoparticules...) fait référence à la dimension de l'infiniment petit, visible depuis l'invention du microscope à effet tunnel dans les années 80. Les scientifiques s'accordent à parler de nanoparticules en dessous de 100 nm.

- Il y a le même rapport de taille entre la Terre et une tomate qu'entre celle-ci et un objet nanométrique. 1000 objets nanométriques tiennent dans l'épaisseur d'un cheveu.

Que sont les nano-matériaux

- Le CSRSEN (Comité Scientifique de l'UE des Risques Sanitaires Emergents et Nouveaux) a émis des recommandations pour aider à définir ce qu'est un « nano-matériau ». Les conclusions de cet avis sont les suivantes :

1. tandis que les propriétés physiques et chimiques des matériaux peuvent changer avec leur taille, il n'y a aucune justification scientifique à définir une limite de taille supérieure et inférieure uniques associées à ces changements qui pourraient être appliquées pour définir adéquatement tous les

↳ ∈ consoglobe . com

nanomatériaux ;

2. il existe des preuves scientifiques qu'aucune méthodologie unique (ou un groupe de tests) ne peut être appliquée à tous les nanomatériaux.

3. Bien que la taille est universellement applicable pour définir tous les nanomatériaux et constitue le critère le plus approprié, une compréhension de la distribution des tailles d'un nanomatériau est essentielle et la distribution de ces tailles est l'élément le plus pertinent.

Le CSRSEN a souligné que si le terme « nanomatériau » catégorise un matériau par la taille de ses éléments constitutifs. La terme nano-matériau ne fait référence à aucun risque spécifique, ni ne signifie nécessairement que ce matériau aurait de ce fait de nouvelles propriétés dangereuses par rapport à ses éléments constitutifs ou des matériaux similaires de plus grande taille.

Sources : Greenfacts.org / base scientifique pour la définition de « nanomatériaux » donnée par le Comité Scientifique de l'UE des Risques Sanitaires Emergents et Nouveaux– CSRSEN – approuvé avis par procédure écrite le 8 décembre 2010. / Scientific basis for the definition of "nanomaterial" given by the EU Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks – SCENIHR – approved opinion by written procedure on 8 December 2010.

Dans quel produit trouve-t-on des nanoparticules

- Peintures et revêtements : les films soi-disant "anti-bactériens" de nanoparticules recouvent des objets comme les tétines, les jouets, préservatifs, téléphones, bacteries de cuisine. Risques potentiels : quand les surfaces s'usent, les nanoparticules peuvent se libérer.
- Nanoparticules et Cosmétiques : les crèmes écran-solaire conteinnent des nanoparticules d'oxyde de titane ou d'oxyde de zinc. Risques potentiels : absorption à travers la peau, libération des nanoparticules dans l'eau quand on se lave.
- Vêtements : On trouve des nanoparticules d'argent sur des chaussettes, tee-shirts, blouses médiales, chemises pour leur donner des propriétés antibactériennes et limiter les odeurs. Risques potentiels : absorption par la peau. Le nettoyage et le recyclage ou l'élimination de ces vêtements peuvent entraîner des rejets de particules dans l'eau.
- Additifs chimiques : En Europe, on ajoute de l'oxyde de cérium au gazole pour réduire la pollution due aux gaz d'échappement comme le monoxyde de carbone ou les oxydes d'azote. Risques potentiels ; les gaz d'échappement rejoignent l'atmosphère et donc finissent aussi dans l'eau.
- Electronique : On fixe des nanotubes de carbone aux puces pour en limiter l'échauffement. On ajoute des nanocrsitaux de manganèse dans les batteries et les piles pour en augmenter la capacité. Risques potentiels : Exposition aux nanoparticules dans on utilise les appareils. Des nanparticules peuvent être libérés quand on retraite, ou recycle les appareils et peuvent finir dans l'eau ou dans l'air
- Sport : on utilise des nanotubes de carbone dans des raquettes de tennis, clubs de golf, battes de base ball, skis ou vélos pour renforcer leur structure ou les alléger. Risques potentiels : on peut être exposé aux nanoparticules quand on utilise les objets. Lors de l'incinération ou le retraitement des objets on peut libérer les nanoparticules qui s'échappent dans l'eau ou l'air.
- Les nanoparticules et alimentation

Nanoparticules et Matériaux antimicrobiens

- Des applications antimicrobiennes se sont principalement développées avec des nanoparticules métalliques (argent, zinc, cuivre essentiellement) ; l'utilisation de l'ion argent apparaît la plus

fréquente. Les matrices d'oxydes de métaux sont introduites au sein de divers matériaux (polymère, fibres textiles, papier). La libération de substances biocides pourrait être contrôlée par différents processus tels que la modification du rapport silice/biocide, l'ajout d'additifs (alkylsilane) qui changent la porosité ou encore l'ajout de substances formant un complexe avec les biocides.

De tels revêtements recouvrent la modification des propriétés physico-chimiques des surfaces afin de faciliter le nettoyage, la limitation de l'adhésion des souillures, la limitation et le développement de biofilms bactériens et l'inhibition ou l'élimination des bactéries sur les surfaces ou les aliments au contact avec ces matériaux.

Parmi les applications retrouvées sur Internet, évocatrices de nanomatériaux antimicrobiens, peuvent être cités:

- des films transparents commercialisés depuis 2005 dans lesquels des nanoparticules d'argent sont incorporées (Kodak) ;
- des réfrigérateurs dont la cuve intérieure est constituée de plastique enrichi en nanoparticules d'argent (LG Electronics et Samsung) ;
- un buvard contenant des zéolites pour les barquettes alimentaires afin de limiter la prolifération bactérienne et absorber les exsudats de la viande, allongeant ainsi la limite de conservation de 1 à 3 jours ;
- un matériau en polyuréthane contenant des particules d'argent (100 mg/100 cm2) libérant 70 ppm d'ions Ag, associant de la chlorhexidine. (2006)35.

Les nanoparticules dangereuses pour la santé

Jusqu'où les nanoparticules peuvent-elles pénétrer dans un organisme du fait de leur taille ?

On ignore la toxicité des particules de matière de quelques millionièmes de millimètre. La connaissance de leur composition chimique ne suffit pas à prévoir leurs effets. Les médecins connaissent déjà les effets néfastes de certaines nanoparticules communes, telles les particules de diesel. Des recherches ont donc lieu dans le monde entier afin de préciser la toxicité des nanomatériaux.

La translocation des nanoparticules

La translocation, c'est la capacité à pénétrer dans les tissus. On a découvert la possibilité inhérente à la taille des nanoparticules de pénétrer dans l'organisme : des scientifiques ont montré que des particules de carbone peuvent franchir les protections de l'organisme et provoquer des inflammations. Le premier risque aujourd'hui est lié à la pénétration par voie pulmonaire, par inhalation. Il a été démontré que les nanoparticules pénètrent dans le sang après s'être déposées dans les alvéoles pulmonaires; d'autres expériences ont également confirmé que les nanoparticules absorbées à travers la peau et le nerf olfactif pouvaient s'insinuer dans le système nerveux central.

- "La médecine environnementale admet qu'il existe un lien entre une exposition aux nanoparticules et aux particules ultrafines et certaines réactions inflammatoires des muqueuses nasales, des voies respiratoires inférieures et des alvéoles pulmonaires. Une telle exposition peut aggraver un asthme ou accroître une tendance aux allergies. Par ailleurs, nous savons qu'il existe un lien entre l'accumulation de particules dans l'environnement et les maladies

cardiovasculaires, à savoir la morbidité et la mortalité en rapport avec les maladies coronariennes et les infarctus du myocarde. Il n'a pas encore été possible de démontrer dans quelle mesure cela s'applique également aux nanoparticules.

- Les nanotubes de carbone, une forme particulière de nanoparticules, présentent des ressemblances avec la structure des poussières fibreuses telles que l'amiante. En raison de la géométrie des fibres, il a été supposé que les nanotubes de carbone pouvaient produire les mêmes effets que l'amiante. Des essais sur les animaux, dont les résultats ont été publiés récemment, mentionnent des indices d'effets cancérogènes liés aux nanotubes. Des nanotubes implantés dans la cavité abdominale ont causé des altérations inflammatoires comparables à celles produites par l'amiante; l'un des tests pratiqués sur des souris a provoqué des mésothéliomes (tumeurs malignes du péritoine). Quant à savoir si les nanotubes de carbone doivent être considérés comme cancérogènes – et si oui, à partir de quelle dose, pour quelle géométrie et quelle biopersistance – il s'agit de l'une des questions à résoudre pour évaluer les risques encourus par les travailleurs concernés.

- L'effet des nanoparticules et des particules ultrafines n'est pas le même que celui des particules de taille supérieure et de composition chimique identique. Les nanoparticules et les particules ultrafines ont tendance à s'agglomérer, ce qui peut leur faire perdre leurs nanopropriétés spécifiques. En surface elles peuvent absorber des substances problématiques qui, semblable au cheval de Troie, seront ensuite transportées dans les cellules. En raison de leur faible diamètre, elles présentent une grande surface et une masse minime. Les mesures effectuées d'après le poids de masse (grammes par mètre cube) ne sont donc pas pertinentes. * Pour évaluer les risques et fixer des valeurs limites, la question se pose quant à savoir s'il faut se baser sur le nombre de particules, leur surface et leur composition chimique ou sur d'autres paramètres tels que la formation d'espèces réactives de l'oxygène" source : Dr Marcel Jost, Suva, médecin-chef médecine du travail

Les Nanoparticules et la barrière encéphalique

- Les nanoparticules de dioxyde de titane, utilisées dans de nombreux produits, des peintures aux crèmes solaires, peuvent altérer la barrière hémato-encéphalique qui protège le cerveau des éléments toxiques. Ce sont les conclusions, publiées mercredi 26 octobre, d'une étude conduite in vitro par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA).

Une exposition chronique à ces nanoparticules « pourrait entraîner leur accumulation dans le cerveau avec un risque de perturbation de certaines fonctions cérébrales », précise le CEA dans un communiqué.

Une étude chez le rat avait déjà montré en 2008 qu'après une instillation nasale, des nanoparticules de dioxyde de titane étaient détectées dans leur cerveau, notamment le bulbe olfactif et l'hippocampe, une structure ayant un rôle-clé pour la mémoire.

Les chercheurs ont cherché à savoir comment ces nanoparticules pouvaient seretrouver dans le cerveau qui est protégé des éléments toxiques par une structure particulière : la barrière hémato-encéphalique.

Des équipes du CEA et de l'université Joseph-Fourier de Grenoble ont reconstitué un modèle cellulaire de cette barrière protectrice, associant des cellules endothéliales (cellules de la paroi des vaisseaux sanguins), cultivées sur une membrane semi-perméable, et des cellules gliales (pour le système nerveux).

Grâce à ce modèle présentant les principales caractéristiques de la barrière hémato-encéphalique existant chez l'homme, les chercheurs ont mis en évidence qu'une exposition in vitro aux nano-TiO2 entraîne leur accumulation dans les cellules endothéliales. Il en résulte aussi une rupture de la barrière de protection, associée à une inflammation cérébro-vasculaire. On a constaté une diminution de l'activité d'une protéine (P-glycoprotéine) dont le rôle est de bloquer les toxines susceptibles de pénétrer le système nerveux central.

Source : lemonde.fr/planete/article/2011/10/26/des-nanoparticules-alterent-la-barriere-protegeant-le-cerveau_1594248_3244.html

Nanoparticules et crèmes solaires

- Une étude menée par le Département de technologie chimique et pharmaceutique de l'Université de Cagliari, en Sardaigne, s'est penchée sur la question de savoir si les nanoparticules métalliques pénétraient dans la peau puis dans l'organisme. En effet, on trouve des nanoparticules dans les produits de beauté, les crèmes solaires et les produits d'entretien. L'étude a montré que les nanoparticules métalliques franchissent la barrière lipidique et peuvent pénétrer au plus profond de la couche cornée, dans les follicules capillaires et parfois même dans l'épiderme vivant.</p>

Incertitude.

On ne peut pas conclure de ces résultats que les nanoparticules ne pénètrent pas profondément dans la peau ni qu'elles ne la traversent pas d'ailleurs. Dans des situations de la vie réelle, par exemple lors d'égratignures ou d'écorchures, en cas d'insolations, lorsque la peau est très sèche ou très fortement irriguée, etc. on peut supposer que les nanoparticules ont un plus fort pouvoir de pénétration. Cependant il ne faut pas s'effrayer outre mesure car les nanoparticules sont incorporées dans une matrice de matière. C'est le cas des particules d'oxyde de titane contenues dans les crèmes solaires : ainsi emprisonnées dans un corps gras, elles sont inoffensives.

Comment éviter les nanoparticules dans vos cosmétiques

Pour savoir si une crème contient ou non des nanoparticules, vous pouvez vérifier si elle laisse un léger film blanc sur la peau : si c'est le cas, cela signifie qu'elle ne contient probablement pas de nanoparticules.

Pour en être plus certains, le mieux est de se tourner vers les cosmétiques labellisés bio, comme Ecocert et Cosmébio, qui ont exclus l'usage des nanoparticules en 2008. Et, pour ce qui est des crèmes solaires bio, celles-ci sont encore rares sur le marché, certains fabricants bio retardant leur lancement . Vous en trouverez toutefois sous les marques bio comme Bioregena, Lavera, Alpaderm, ou Snö Bioflowers, qui garantit un diamètre des particules supérieur à 200 nm.

Nanoparticules : un danger aussi pour l'environnement

Des études révèlent aussi la toxicité des nanoparticules pour les écosystèmes (notamment aquatiques).

En mars 2009, une étude de l'Université de Toledo (Ohio) sur le dioxyde de titane (TiO2) présent dans certains cosmétiques affirme que ces nanoparticules, présentes dans les eaux traitées dans les stations d'épuration, seraient capables d'éliminer les micro-organismes qui jouent un rôle vital dans les éco-systèmes et participent au traitement de l'eau.

L'utilité des nanoparticules

Les nanoparticules offrent de nombreuses perspectives nombreuses et variées. A l'échelle du milliardième de mètre, les propriétés des particules ultrafines de matière sont différentes de celles qui sont plus grosses. D'où l'intérêt de ces nanomatériaux qui révolutionnent les propriétés de la matière. Intérêt pour les PUF provient de ce que plus elles sont petites plus on parvient à une frontière caractérisée par l'apparition de propriétés ou de comportements nouveaux: des matériaux isolants, opaques peuvent devenir respectivement conducteurs, transparents ou encore changer de couleur, devenir solubles, former spontanément des structures ordonnées. L'emploi de nanoparticules à grande échelle suppose cependant que soit mieux compris et maîtrisé leur impact sur la santé et l'environnement, de la fabrication à l'usage des produits concernés jusqu'à leur fin de vie.

au sujet des nanoparticules

- Nanoparticules et cosmétiques

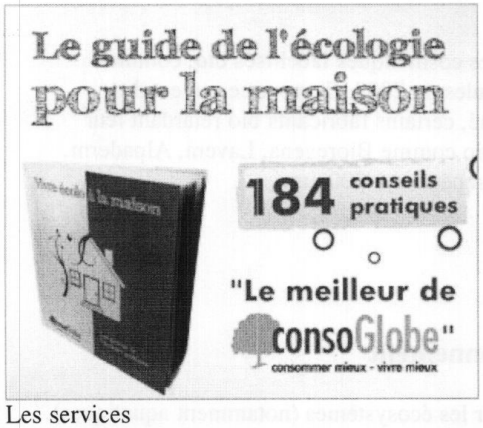
Récupérée de « http://www.encyclo-ecolo.com/Nanoparticules »

Catégories: Habitat écologique | Biocarburant et transport

Vous êtes spécialiste d'un sujet ? Vous avez une info ? Complétez ou créez un article sur encycloÉcolo.

Chercher

Partager

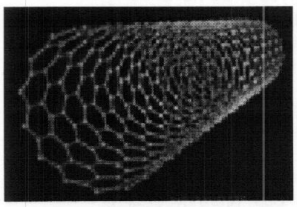


Les services

[Exc Association Française Transhumaniste]

Nanoparticules : comment réglementer les risques ?

Entreprises \Santé
Publié le 18-12-2008



Aujourd'hui, on ne connaît pas encore parfaitement les risques sanitaires et environnementaux liés aux nanoparticules. Très peu d'Etats ont pris position à ce sujet. La mise au point d'une réglementation à l'échelle européenne, voire mondiale, promet d'être complexe. Quelques pistes de réflexion ont cependant déjà émergé.

« *Les nanotechnologies ne peuvent pas être considérées comme une nouvelle filière* » estime le professeur William Dab, titulaire de la chaire Hygiène et sécurité du Conservatoire national des Arts et métiers (CNAM). Et pour cause : les produits contenants des nanoparticules manufacturées font déjà partie de notre quotidien. Du sèche-cheveux aux aliments, en passant par les cosmétiques et l'automobile, les nanotechnologies sont transversales à tous les secteurs. Le manque de données scientifiques sur l'innocuité des nanomatériaux a poussé plusieurs organismes à tirer la sonnette d'alarme. La situation est surtout préoccupante parce que personne ne peut affirmer où l'on trouve des nanoparticules aujourd'hui. On estime à 800 le nombre d'articles contenant des nanomatériaux vendus dans le monde, mais il n'existe pas de liste officielle des entreprises qui en produisent ou en vendent. Dans de très nombreux pays, les nanotechnologies ne tombent sous aucune règlementation. Comme alors espérer une gouvernance internationale des risques liés aux nanoparticules, considérée comme indispensable par plusieurs acteurs de la sécurité sanitaire et environnementale ?

Encore très peu de réglementations nationales

Pour David Azoulay, coordinateur de la campagne Chimie aux Amis de la terre Europe, « *un accord à l'échelle internationale permettrait d'harmoniser des réglementations nationales disparates. Mais pour l'instant, ce sont ces réglementations nationales qu'il convient de créer* ». En France, un groupe de travail interministériel, piloté par le Ministère de la santé, a été créé en 2006. L'Afsset a été saisie trois fois depuis 2005, pour approfondir les connaissances sur l'innocuité des nanomatériaux sur l'environnement, sur les travailleurs et sur les consommateurs. Son premier rapport, en 2006, a conduit à la création d'un groupe de veille sur les impacts sanitaires liés aux nanotechnologies, sous l'égide du Haut conseil de la santé publique (HCSP). La priorité est donc de pallier au manque d'informations sur les dangers des nanoparticules.

Une proposition, formulée dans le cadre du Grenelle de l'environnement, offre un début de traçabilité des nanomatériaux. Cette mesure, qui figure dans un projet de loi en cours d'examen, contraindrait les producteurs ou importateurs de nanoparticules à déclarer l'identité, les quantités et l'usage de ces substances, et à fournir le cas échéant les informations sur leur toxicité. « *L'application légale du Grenelle est indispensable, mais la réflexion au niveau européen est incontournable* » soutient Arila Pochet, chargée du dossier "nanotechnologies" à la sous-direction Prévention des risques liés à l'environnement et à l'alimentation de la Direction générale de la Santé (DGS).

REACH peut-il couvrir les nanoparticules ?

L'Europe n'est pourtant pas en avance. Dans le cadre de la réglementation REACH, un groupe de travail était chargé en 2005 de déterminer si les nanoparticules étaient des substances chimiques nouvelles, ou une forme particulière des substances existantes ; il n'a pas su répondre. En juillet 2008, la Commission européenne a créé un nouveau groupe pour décider si les nanoparticules entraient dans le champ d'action de REACH ; le débat court toujours. Il restera ensuite à juger si les seuils d'exposition maximale inscrits dans REACH (en tonnes de substances par an) sont pertinents pour des molécules aussi légères que les nanoparticules. « *Le travail est long et fastidieux, des échanges permanents sont nécessaires mais peu de pays s'expriment* » regrette Arila Pochet. L'Allemagne reste par exemple très discrète sur le sujet.

C'est surtout le manque de données scientifiques qui freine les débats sur la dangerosité des nanomatériaux. D'autant plus que chaque nanoparticule a des caractéristiques différentes, donc des effets différents. Pour déterminer la toxicité d'un nanomatériau, une batterie de tests très couteux est indispensable. Le groupe de travail sur la sécurité des nanomatériaux de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a lancé un programme de parrainage de ces tests. 30 pays de l'OCDE, associés avec le Brésil, la Chine, Singapour, la Russie, la Thaïlande, l'Organisation mondiale de la santé (OMS), le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) et des industriels, se partageront le financement des analyses de 14 nanoparticules déjà sur le marché. 60 tests et 2 millions d'euros seront nécessaires pour chaque nanoparticule. Les premiers résultats sont attendus d'ici un an.

LA PRESSE ALLEMANDE ENCENSE LES NANOPARTICULES

Dans les journaux allemands, les nanotechnologies sont essentiellement présentées comme une innovation technologique positive. Un rapport de l'Institut fédéral pour l'évaluation des risques (Bundesinstitut für Risikobewertung, BfR) montre que la grande majorité des

Mettre en commun les données existantes

Le groupe de travail de l'OCDE a lancé 7 autres projets sur les nanomatériaux, notamment pour identifier les besoins en matière de recherche et de limitation de l'exposition professionnelle. Ces projets permettront également de comparer les différentes façons de faire des pays. *« Chaque Etats a des systèmes d'évaluation des risques différents, des dispositifs de prévention différents, et des informations scientifiques différentes. Notre but est de mettre tout ceci en commun »* explique Peter Kearns, chargé de ce groupe de travail. Un processus qui permettrait *« de construire une réglementation ensemble, plutôt que d'harmoniser les blocs existants »*, comme l'espère Françoise Roure, économiste au Conseil général des technologies de l'information au Ministère de l'économie, et auteure du rapport « Les nanotechnologies, éthique et prospective industrielle ».

David Azoulay regrette qu' *« à aucun moment, on ne se pose la question de l'intérêt social de ces nanotechnologies »*. C'est surtout dû au manque de communication des fabricants et vendeurs. La présence de nanomatériaux inquiète, et reste tabou. Peu d'entreprises ont pris en compte les risques liés aux nanoparticules, à l'échelle des travailleurs comme à celle des consommateurs. Les sociétés affirment au diapason protéger correctement leurs employés, alors même que l'Afsset questionne l'efficacité des installations actuelles, qui ne sont pas prévues pour protéger des molécules nanométriques.

que la grande majorité des articles concernant les nanoparticules évoquaient uniquement leurs bénéfices. L'étude, une première dans ce domaine, a analysé près de 1700 articles parus dans 9 titres de la presse allemande entre 2000 et 2007. 70% de ces articles omettaient complètement d'évoquer les risques sanitaires et environnementaux liés aux nanomatériaux. Les médias allemands préfèrent insister sur les intérêts de ces technologies pour la médecine, et l'information et la communication. Selon le BfR, ce positionnement se ressentirait dans l'opinion du public allemand, plutôt en faveur des nanotechnologies.

Rouba Naaman

© 2008 Novethic - Tous droits réservés

Partager

SOMMAIRE DU DOSSIER

Nanotechnologies : quels risques? (24-02-2009)
Nanoparticules : comment réglementer les risques ? (18-12-2008)
L'Afsset et le HSCP jugent les nanomatériaux «dangereux» (26-01-2009)
Les nanotechnologies, sujet tabou pour les entreprises françaises ? (05-10-2007)

ARTICLES SUR LE MÊME THÈME

L'Afsset et le HSCP jugent les nanomatériaux «dangereux» (26-01-2009)
Les nanotechnologies, sujet tabou pour les entreprises françaises ? (05-10-2007)

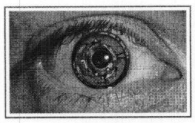
Ex FEBEA

Sciences et Démocratie

Débats de société sur les enjeux des technologies et des sciences

Convergence NBIC

Soumis par **Philippe Bourlitio** le mer, 14/03/2007 - 20:45.
Mots-clés : **nanotechnologies** **prospective**



On désigne par convergence NBIC[0] l'articulation entre elles de technologies issues des nanosciences, de la biologie, des sciences de l'information et des sciences cognitives. Il s'agit d'une voie de recherche très prometteuse, semble-t-il, au point que des sommes colossales seraient investies... Pour des résultats qui pourraient arriver dans un futur assez proche. En quoi la convergence des quatre domaines NBIC peut-elle bien être prometteuse ? Quelles applications peut-on imaginer ? Lesquelles vous paraissent capitales, prioritaires ? Quelles questions éthiques ne manqueront pas de se poser ? Quels risques faut-il prévoir ? Voici les questions que nous vous invitons à débattre en vue d'un prochain dossier...

Nous proposons de traiter de cette question de la convergence en dehors de notre dossier nanomonde. Êtes-vous d'accord pour considérer le sujet de la convergence NBIC comme un dossier à part entière plutôt que comme une sous-partie du dossier "nanomonde" ?

Merci de participer à la délimitation du sujet, à l'identification des notions fondamentales qui aideront le lecteur novice à mieux appréhender le sujet, à la formulation des bonnes questions qui feront les bons débats.

Afficher une version imprimable

Commentaires

Exprimez-vous ! L'association Sciences et Démocratie se bat pour donner la parole aux citoyens dans les débats « science société ». Vos messages renforceront notre motivation.

Convergence NBIC et ADN
Soumis par tonic le lun, 03/09/2007 - 01:01.

Bonjour,

j'y connais rien ;) et j'espere ne pas me tromper de sujet je pense par exemple qu'une des premières application des NBIC est la création de mémoires et de messages codées non pas sur un DD mais sur des séquences ADN par exemple, elles auraient des durées de vie quasiment infinie une posibilité de réplication infinie elles aussi. Une des priorité de la recheche dans ce domaine doit s'axer sur la compréhension parfaite de l'adn , c'est sûr cela pose enormément de problème ethique (ceux que nous vivons aujourd'hui) et il conviendras de poser des limites aux applications car nous ne connaissont aujourd'hui que 1% des veritables fonctions de l'adn dans un organisme et nous ignorons tout des effets à long termes d'éventuelles manipulation génétique sur des organismes vivants et nous faisons déjà des choses effrayentes avec. Je pense que la clé de beaucoup de mystères de la nature réside dans l'adn , des origines de la vie , en passant par l'élaboration de vaccins contre des maladies incurables , la recherche de vie extraterrestre toutes ses avancées ne se ferrons pas à mon avis sans une trés bonne connaissance de cette molécule qui n'est pas seulement une mémoire biologique mais est aussi par sa forme géométrique hélicoidale une formidable antenne (une avancée en matière de technologies de l'information ?) qui j'imagine peu entrer en résonnances avec certaines ondes , l'adn pourrait être source d'energie , la preuve certains poissons des grands fonds font de la lumière à partir de certaines cellules de leur anatomie ce qui prouve bien que agencé d'une certaine façon on pourrait créer des lampes organique pourquoi pas ? en ce qui concerne les science cognitive comme le psychologie certains chercheurs ont découvert que certaines séquences d'adn dicterait le comportement social de certains animaux , là encore il y a des mystéres à découvrir. En nanotechnologie bien connaitre l'adn permettrait de créer des microorganismes robots pourquoi pas . Voila :) moi je suis persuadé que l'adn est la clé et l'avenir ! Et en lui réside bien des secret de l'univers (lol).

Bien sûr tous les débats éthiques que nous connaissont aujourd'hui sont utiles et importants car ils vont fixer des limites non pas à l'avancée des recherches mais aux applications plus ou moins dangeureses des applications des futures découvertes , enfin c'est un débat sans fin que je préfère laisser aux spécialistes

NOTRE DOSSIER LIÉ

Les nanotechnologies

SUR NOTRE BLOG

14.12.11	Nanomatériaux : vers une meilleure information et protection des consommateurs européens ?
02.12.11	Enfin le décret relatif à la déclaration annuelle des substances à l'état nanoparticulaire !
29.11.11	Code de bonne conduite européen en nanosciences : nouvelle publication et prochaine réunion à Paris
30.10.11	Des laboratoires de recherche en nanotechnologies cibles d'attentats

ACTUALITÉS (REVUE DE WEB)

31.03.10	Des nano-réseaux de protéines disponibles en grandes surfaces
29.03.10	Evaluation des risques liés aux nanomatériaux : cessons d'attendre et de dire que l'on ne sait rien !
24.03.10	Mesure de l'impact des nanoparticules sur la santé
24.03.10	"Ne revivons pas le scandale de l'amiante avec les nanotechnologies"
23.02.10	Ces nanotechnologies qui divisent
23.02.10	Etienne Klein: "Surveillons les nanos comme le lait sur le feu"
01.02.10	Dangerosité de certains nanomatériaux mise en évidence par une nouvelle méthode d'analyse
10.12.09	Le débat public sur les nanotechnologies risque de tourner court

plus

RESSOURCES PÉDAGOGIQUES

- LE SILENCE DES NANOS un cyberdocumentaire sur notre avenir technologique
- Les nanotubes : matériau du futur

EN LIBRAIRIE

	ProspecTIC - Nouvelles technologies, nouvelles pensées ? La convergence des NBIC	Jean-Michel Cornu
	A la conquête du nanomonde : Nanotechnologies et microsystèmes	Dominique Luzeaux, Thierry Puig
	Introduction aux nanosciences et aux nanotechnologies	Alain Nouailhat

CARNET DE BORD DE L'ASSOCIATION

Cherchons vidéoprojecteur pour notre AG du 30 juin	17 juin
Assemblée générale de Sciences et Démocratie le jeudi 30 juin	08 juin
Les candidats pour 2012 au crible des débats science-société	05 juin

AIDEZ SCIENCES ET DÉMOCRATIE

Soutenir — don, encouragement... cliquez ici

Relayer — bannière web, réseau social... cliquez ici

Partager — information, avis, question... cliquez ici

S'engager — adhésion, partenariat... cliquez ici

FAIRE UN DON

- par virement sur notre compte PayPal :

Faire un don

- via la plateforme de don *Jaimelinfo.fr* :

JAIMELINFO Soutenez la presse en ligne

- par chèque

Pour quels besoins l'association Sciences et Démocratie fait-elle appel à votre générosité ? La réponse ici.

NAVIGATION

- Créer du contenu
  - Proposer une ressource pédagogique
  - Proposer un sujet
  - Proposer un évènement
  - Laisser un message de soutien
- Dernières contributions

CONNEXION UTILISATEUR

Nom d'utilisateur : *

Mot de passe : *

Se connecter

- Créer un nouveau compte
- Demander un nouveau mot de passe

WEB 2.0

Retrouvez Sciences et Démocratie sur

Twitter

Blog

Ex_ FEBEA

Aucun élément à afficher

Quels dangers ?

1. Les enjeux pour la société:

La nanotechnologie n'est pas juste une révolution industrielle, créatrice de valeur et d'emplois, mais aussi et surtout, une voie pouvant résoudre beaucoup des problèmes de notre monde. "La planète est sur la voie d'un désastre écologique majeur.

La nanotechnologie ne résoudra pas tout. Seul un changement radical des comportements des populations du monde, conduit par les pays industrialisés, peut laisser l'espoir de transmettre une planète viable à nos enfants. Mais la nanotechnologie constitue une partie de la réponse car elle peut apporter des solutions pour trouver des styles de vie adaptés à l'avenir". Les nanotechnologies peuvent apporter des solutions en matière d'énergies (propres et renouvelables), d'eau potable (filtrage, purification), de gestion des déchets, de traitement des épidémies ou de lutte contre la faim dans le monde. La nanotechnologie, synonyme de développement durable et d'écologie respectée (et, plus généralement, d'espoir). Au-delà de leurs atouts économiques les nanotechnologies peuvent nous permettre d'avoir une vie meilleure.

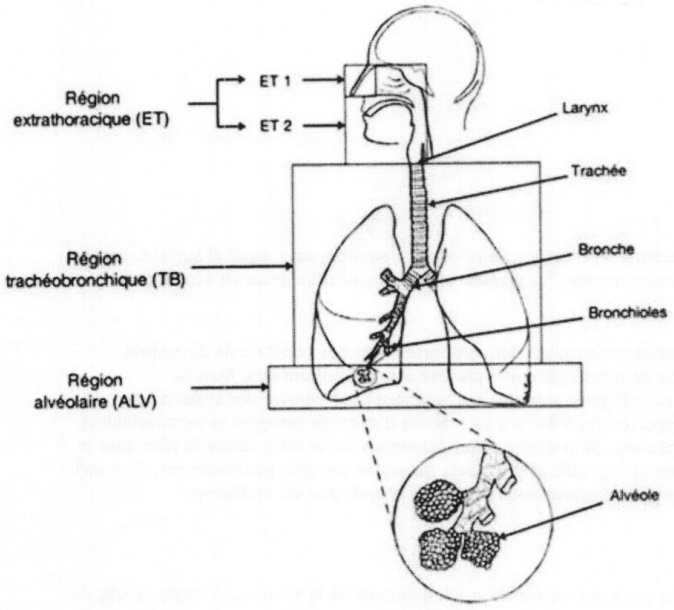
2. Les risques :

Le Centre de Nanotechnologie Responsable a identifié quelques un des risques inquiétants de la Nanotechnologie. Quelques un sont de risques existentiels, c'est à dire, qu'ils pourraient menacer la continuité de l'humanité. D'autres pourraient produire de grands changements sans produire l'extinction de notre espèce. Un mélange de plusieurs de ces risques pourrait empirer la gravité de chacun. Et toutes les solutions qui se posent pour chacun de ces risques doivent tenir compte de l'impacte qu'ils auraient sur les autres.

A. Risques pour l'homme.

Comme toute activité humaine, les nanotechnologies comportent des risques. En matière de santé, les experts en nanotechnologie n'ont pas de connaissances précises sur la toxicité pour l'homme des nanoparticules, manufacturées ou non. Concernant celles-ci, les risques pour la santé seraient donc importants, quelle que soit la voie de pénétration : voies respiratoire, cutanée, digestive ou par inhalation, les particules ultrafines pourraient se retrouver directement au contact du cerveau, par cette dernière voie. On les soupçonne, entre autres, d'être la cause d'effets inflammatoires. Plusieurs études épidémiologiques ont en effet prouvé par le passé que les nanoparticules de carbone engendraient chez l'animal des granulomes pulmonaires, des fibroses (maladie chronique qui apparait après une inflammation avec formation de cicatrices fibreuses au niveau des poumons) donc des pathologies au niveau des poumons, mais également au niveau cardiaque.

Il faut savoir que les nanoparticules sont capables, contrairement aux autres poussières, de passer les barrières biologiques ce qui fait que quand elles viennent à être inhalées, elles se déposent dans les poumons (les effets de ces nanoparticules sur les poumons seraient comparables à ceux de l'amiante). Elles peuvent donc ensuite passer la barrière pulmonaire et atteindre le sang et la lymphe (sang dépourvu de globules rouges) grâce aux alvéoles, pour enfin s'étendre à l'ensemble de l'organisme (foie, cœur, rate, etc.). C'est ce que l'on appelle le processus de translocation. Elles peuvent ainsi atteindre n'importe quelle partie de l'organisme et engendrer des pathologies diverses. De plus, les experts savent que les nanoparticules peuvent passer par l'épiderme du fait de leur petite taille, ce qui fait de la peau une des principales possibilités d'entrée de celles-ci dans le corps humain.



Risques de la nanotechnologie : les différentes possibilités d'entrée des nanoparticules dans le corps : les parties les plus vulnérables sont la peau, les voies respiratoires et les organes particulièrement irrigués (foie, reins,...) et le cerveau pour les nanoparticules les plus petites (1 nm) pouvant franchir la barrière biologique. (Les Nanoparticules, Avis d'experts, Benoît Hervé-Bazin INRS, EDP Sciences, 2007)

Il convient ainsi de travailler dans deux directions : la prévention et les études épidémiologiques. Des recherches sont également portées sur les nanoparticules au niveau des cellules : « Nous voulons voir par exemple si de telles particules sont capables de percer la membrane cellulaire pour s'y accumuler et, après accumulation, si ces particules sont transformées par les cellules », explique Barbara Gouget, chargée de recherche CNRS au laboratoire Pierre Sue à Saclay. « En fonction du mode de contamination, et selon l'état de surface des nanoparticules, celles-ci pourraient s'agréger et endommager certains organes du corps humain », précise Marie Carrière, chercheuse CEA.

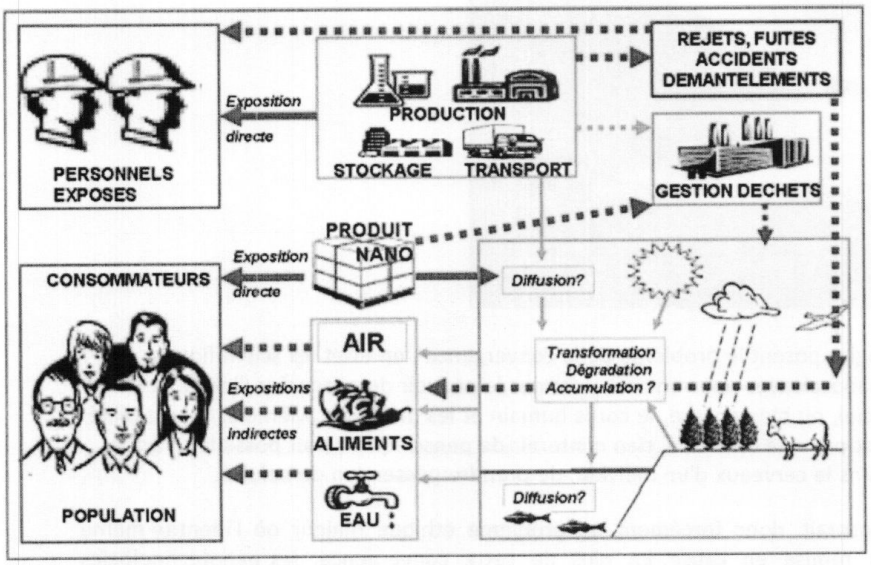
Pour les risques concernant les humains, plusieurs études, pour la plupart américaines, ont révélées des risques potentiels chez l'homme similaire à ceux rencontrés chez les animaux. Mais Eric Gaffet, directeur de recherche du CNRS explique que ces études « sont souvent contradictoires et surtout non reproductibles. Dans ces articles, nous ne savons même pas quels types de nanoparticules sont étudiés. ». Il existe donc bien un risque pour l'homme mais en agissant dés maintenant et en élaborant des règles strictes, ce risque pourrait être contrôlé. Ces mesures de sécurité qui sont prises pour limiter ces risques, sont diverses. Les spécialistes préconisent notamment de confiner les moyens de production, de produire ne continu plutôt que par campagne pour limiter l'intervention des salariés, d'utiliser la substance sous une forme plus sûre, par exemple d'utiliser les nanoparticules en suspension dans un liquide plutôt qu'en poudre, ou de les enveloppées dans des petits morceaux de plastique pour les transporter. Il s'agit également ensuite de mettre en place dans les diverses entreprises qui manipulent des équipements de ventilation, de filtration, voire d'équiper les salariés d'équipements de protection : masques, combinaisons, gants. Mais le plus important reste bien évidemment la formation et l'information de ces salariés.

Cela dit, certaines nanoparticules telles que les fullerènes peuvent avoir des effets bénéfiques sur la santé en petite quantité. En effet les fullerènes sont capables de capturer les radicaux libres qui sont responsables, quand ils sont en grand nombre, du vieillissement et de l'artériosclérose (vieillissement des artères). Cependant les fullerènes de carbone qui sont utilisés dans certaines crèmes et produits hydratants ont des propriétés antibactériennes, il a été montré qu'ils provoquaient des lésions dans le cerveau de poissons. Même à des taux d'exposition bas, il a été démontré qu'ils provoquaient des lésions dans les

cellules du foie humain.

B. Risques pour l'environnement :

En ce qui concerne l'environnement, comme tout autre matériau, les nanomatériaux doivent subir différents tests pour s'assurer qu'ils ne sont pas nuisibles pour l'environnement. Il faudra donc analyser le cycle de vie de ces matériaux, pour s'assurer qu'à la fin de leur utilisation, les produits non recyclables ne soient pas nuisibles, ou bien il faudra les rendre inoffensifs. Il faudra également s'assurer que des produits de dégradation ne contaminent pas l'environnement à long terme. Du fait de leurs petites dimensions, les nanoparticules peuvent absorber des volumes de gaz importants sur une surface réduite. Cela permettra, par exemple, une plus grande efficacité du filtrage des polluants ou des pots catalytiques des véhicules.

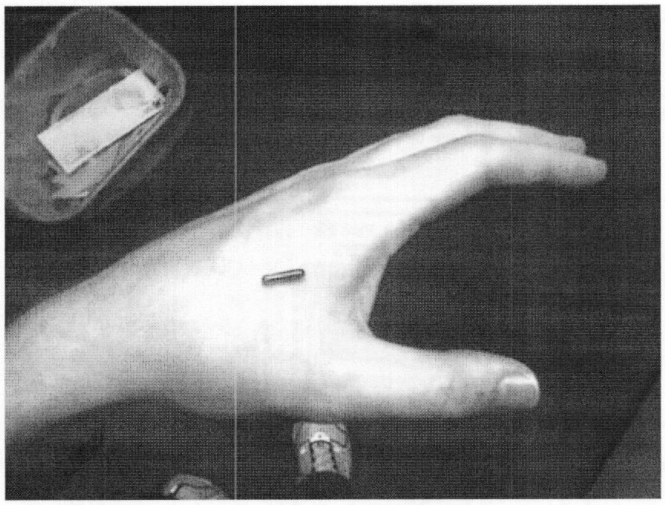


Au niveau des risques que les nanotechnologies représentent pour l'environnement, le principal problème que posent les nanotechnologies est la dispersion dans l'environnement de celles-ci. En effet les chercheurs savent peu de choses quant aux effets des nanoparticules manufacturées sur l'environnement. En ce qui concerne leur dispersion, plusieurs programmes sont actuellement en cours outre-Atlantique. Cela dit, les scientifiques ont d'ores et déjà pu établir qu'une fois répandues dans l'atmosphère, les nanoparticules sont capables de franchir de grandes distances avant de se redéposer à terre. Leur avenir dans le sol est en revanche moins connu : quelques études montrent que le déplacement de ces poussières dépend de leur nature et de celle des terrains où elles ont été semées, le fullerène (molécule composée de carbone pouvant prendre la forme d'une sphère, d'un tube (appelé nanotube ou d'un anneau) étant, selon elles, la moins mobile des substances testées.

Enfin, des nanoparticules étant susceptibles d'être introduites dans les eaux de surface suite à une manipulation accidentelle ou après un transport par voie atmosphérique, des recherches ont été menées sur leur capacité à se déplacer dans ce milieu. Elles ont conclu que dans les conditions ordinaires d'acidité, certains de ces matériaux comme le fullerène C60 ont tendance à s'assembler en agrégats ce qui limiterait la distance qu'ils seraient en mesure de parcourir. Par ailleurs, les chercheurs n'ont aucune idée quant à la capacité qu'on les nanoparticules à se dégrader.

C. Risques de l'ordre de l'éthique :

Outre cet aspect sanitaire, d'autres réflexions d'ordre éthique sont menées sur les conséquences possibles des nanotechnologies sur notre vie quotidienne. Prenons l'exemple des RFID (Radio Frequency Identification Devices), ces étiquettes électroniques déjà utilisées pour identifier nos animaux domestiques, ouvrir et démarrer certaines voitures récentes ou encore suivre à la trace certains produits, de leurs fabrications à leur mise en vent. Dans le futur, grâce aux nanotechnologies, ces dispositifs seront amenés à se multiplier dans notre quotidien et la vie privée en sera diminuée. L'apparition des dispositifs RFID permettant par implantation sous-cutanée d'une puce, le repérage d'individu, pose le problème du respect de la dignité humaine et de la liberté individuelle. Ces dispositifs miniaturisés à l'extrême par l'intermédiaire des Nanosciences permettraient, via l'informatique, un fichage, potentiellement à l'insu des personnes, de tout individu implanté.



De plus, les nanotechnologies posent le problème de la convergence : en effet les scientifiques pensent qu'à terme, les nanosciences pourront nous donner le pouvoir de connecter l'inerte et le vivant, le naturel à l'artificiel, ou bien encore, le corps humain et les machines. Même si la possibilité de cette convergence n'est pas une certitude, rien n'interdit de penser qu'il serait possible, grâce à des implants implantés dans le cerveaux d'un individu, de prendre possession de celui-ci.

Un tel développement poserait donc forcément un problème éthique majeur où l'identité même d'un être humain serait remise en cause. En plus de cette convergence, les nanotechnologies représentent un risque sur le plan éthique de part les puces qui sont crées. En effet, certaines puces, qui existent déjà, sont capable grâce à une seule goutte de sang d'un individu, de connaître énormément de renseignements sur celui-ci tels que les maladies qu'il contracte, ses antécédents médicaux, ... Cela pourrait faire l'objet de discrimination dans le domaine de l'assurance ou bien de l'emploi. Des organismes tels que la CNIL (*Commission nationale de l'informatique et des libertés)* se penchent sur l'utilisation de ces objets.

4. <u>Opposition aux nanotechnologies :</u>

L'inauguration du centre de recherche sur les nanotechnologies Minatec, à Grenoble, avait donné lieu à des débordements violents d'opposants. Il s'agissait de la première manifestation mondiale contre les nanotechnologies, des militants de différents pays d'Europe sont venus soutenir les grenoblois anti-nanotechnologies. Le groupe qui est à l'origine de cette manifestation de nomme « Opposition Grenobloise aux

Necrotechnologies » (OGN), il a mené différentes actions contre les nanotechnologies. Ils ont notamment occupé le chantier de Minatec. Ce groupe n'est pas contre les progrès qu'apportent les nanotechnologies, comme par exemple la guérison du cancer, mais ils ont peur du monde que les « Nécrotechnologies » sont en train de produire, un monde ou la liberté n'existe plus. Ils dénoncent également l'implication importante de l'armée dans ce projet et redoutent les dérives qui pourraient aboutir de ce partenariat.

Manifestation à l'occasion de l'inauguration de Minatec à Grenoble, 2 juin 2006 @ CCSTI Grenoble / CSI / Cap Sciences, 2006

Créer un site gratuit avec e-monsite.com - Signaler un contenu illicite.

Ex. FSC

L'imaginaire de la « convergence NBIC » et ses enjeux

Opération de recherche

Responsable(s) : Patrick Pajon, Philippe Walter

Objectifs : Le passage des activités humaines à l'échelle nano-métrique permet d'intervenir de façon industrielle au cœur de la matière, et de rechercher systématiquement des combinaisons entre bits, atomes, neurones et gènes, ouvrant des perspectives vertigineuses : informatique invisible et ubiquitaire (un ordinateur dans chaque objet, communiquant de surcroît), un corps-cyborg de plus en plus hybridé à des prothèses ou supportant des greffes techniques, des créatures modifiées, des couplages entre cerveaux et ordinateurs, et en ligne de mire la « fabrication moléculaire »... La voie empruntée depuis son origine par une humanité se créant elle-même semble se confirmer : voie fascinante, voire ludique, mais voie étroite tant les figures de la puissance folle ou de l'asservissement y sont présentes...

Dans ce cadre, les discours sur la convergence, leur « grand récit », sont porteurs d'implicites à expliciter. Ils sont liés à une vision du pouvoir (concentration, et secret), à un rapport à la nature (à reconstruire) et surtout à une certaine conception de celle-ci (son imperfection). Ils sont porteurs de conceptions de la connaissance qui sont spécifiques (celle-ci est, de fait, ramenée à de l'ingénierie), et de conceptions du sujet (cybernétisé et relié) qui sont lourdes de conséquences éthiques et politiques. Surtout, la convergence envisage sans recul un bouleversement des catégories conceptuelles entre l'humain (sur fond de néodarwinisme), l'animal et l'artefact.

On voudrait ici tenter de montrer en quoi derrières les promesses , ou les peurs liées aux technologies « de pointe » se tiennent des figures archétypales et mythiques dont la compréhension peut aider à une meilleure saisie des enjeux réels.

Organisation générale du projet

Plusieurs approches peuvent être utilisées dans cette tâche : analyse des discours, mise en perspective historique et culturelle, analyses sémiotiques , études imaginaires, ... doivent permettre de mettre à jour les schèmes de pensée constituant le formidable « réaménagement culturel » en germe dans la convergence NBIC. Cette approche sera traitée dans le cadre de l'axe « imaginaire des sciences et des techniques » du CRI (Centre de Recherches sur l'Imaginaire).

Le travail prendra un double aspect en terme s de production :

- d'une part , une thèse de doctorat sur la question de l'imaginaire de la « convergence NBIC », proprement dite,

▸ d'autre part un travail de construction méthodologique permettant de mieux intégre r les apports des théories de l'imaginaire dans l'appréhension des enjeux des technosciences . En particulier , ce second aspect s'appuiera sur le séminaires du CRI « corps et technologies » et sur les résultats du colloque prévu en décembre 2006 « Corps enchanté, corps en chantier ». Il débouchera sur une série de publications, voire sur un numéro spécial de la revue Iris.

Acteurs du projet

Equipes/ Labo s impliqués

Le projet sera mené conjointement par deux structures ayant établi une collaboration approfondie depuis 2004 sur la question de l'articulation entre compréhension des structures de l'imaginaire, développement technologique et insertion sociale des produits issus des micro et nanotechnologies (Patrick PAJON est membre du Comité d'Orientation de MINATEC IDEAs Laboratory®)

Centre de Recherche sur l'Imaginaire

Le Centre de recherche sur l'imaginaire est un centre de formation à vocation pluridisciplinaire (littérature française, littératures comparées, lettres étrangères, sociologie, psychologie, anthropologie). Son projet scientifique trouve unité et cohérence dans la réflexion sur l'imaginaire et sur l'imagination symbolique menée d'abord, et dans des champs divers, par Mircea Eliade et Gaston Bachelard, reprise et développée par Gilbert Durand qui fonda le centre en 1966 en collaboration avec Paul Deschamps et Léon Cellier.

Théories et méthodes anthropologiques, philosophiques , sociologiques, psychologiques ou littéraires ont été mises au point et développées en référence, en confrontation et/ou collaboration, avec les œuvres de G. Dumézil, E. Cassirer, R. Caillois, H. Corbin, C. Lévi-Strauss, G.Bachelard, P. Ricœur. A partir des acquis de la psychologie, de l'anthropologie, et de l'ethnologie, de la philosophie et de la critique littéraire, cette réflexion s'est poursuivie en relation avec les acquis des philosophies du langage, des méthodes structurales dans les ouvrages de G.Durand bien sûr, et, dans le domaine plus strictement littéraire, après C. Mauron, G. Poulet, P. Albouy, dans les ouvrages de J. Starobinski, N. Frye, M.H. Abrams, R. Girard, ou H.R.Jauss, par exemple.

L'École de Grenoble conduit une réflexion sur les aspects, l'évolution, le sens, d'une herméneutique des images, des symboles, des archétypes et des mythes à l'œuvre dans l'imaginaire d'une culture, d'une époque ou d'un créateur. La méthode d'approche se fonde essentiellement sur l'analyse des procédures symboliques (représentations, symboles, mythes...) comme éléments déterminants de la création littéraire et artistique (mythocritique) et sous-tendant, sur une période donnée, les attitudes socio-historico-culturelles (mythanalyse).

Nom des chercheurs impliqués :Philippe WALTER (Prof . littérature), Patrick PAJON (Mcf. Sciences de la communication) , Stéphanie CHIFFLET (doctorante CRI), William SCHUNADEL (doctorant CRI)

MINATEC IDEAs Laboratory®

MINATEC IDEAs Laboratory® est un plateau d'innovations dont le but est d'améliorer les méthodologies d'accompagnement des processus d'innovations dans le domaine des applications liées aux micro nano technologies. L'objectif de ce laboratoire est d'imaginer les produits du futur intégrant les micro et nanotechnologies, d'anticiper les ruptures induites par les micro et nanotechnologies pour mieux répondre aux attentes du marché, avec une méthodologie centrée « utilisateurs et usages » et enfin de croiser les technologies et les méthodologies d'analyse sociétale pour alimenter les projets d'innovation.

Chercheurs en sciences humaines et sociales, experts scientifiques et partenaires industriels travaillent de concert dans ce laboratoire, en croisant approche en Créativité et approche Usages. Cette activité est rattachée au CEA LETI/ DRT/DCIS.

Place du projet dans les opérations internationales

Le CRI de Grenoble est membre du réseau international des Centres de recherche sur l'imaginaire et entend s'appuyer sur ces relais pour appréhender les différences culturelles dans la construction (ou non) de la « convergence NBIC. Entre notamment Europe, Amérique du Nord et Asie . Pour ce faire, il peut compter sur des collaborations avec : équipe de recherche sur l'imaginaire symbolique (ERIS), Cracovie ; Centre d'histoire de l'imaginaire de Bucarest ; Montréal (UQAM) ; Centre de recherche sur l'imaginaire (CRIT) de Thessalonique ; Porto Alegre et Université PUC de Rio de Janeiro (Brésil). Par ailleurs le CRI est partie prenante du programme Eurasie qui étudie dans une perspective comparatiste les imaginaires européens et asiatiques (Japon notamment).

La convergence technologique NBIC (Nanotechnologies, Biotechnologies, Informatique, Sciences Cognitives) se présente aux Etats-Unis, en Europe, et plus généralement dans les pays à fort développement technologique comme vision et projet structurant pour l'avenir des sciences et des technologies, mais également des sociétés.

Cette « convergence », ce qu'elle présuppose (la vision cybernétique et l 'auto-organisation), ainsi que les redéfinitions disciplinaires qu'elle recommande fait clairement figure, chez de nombreux « décideurs » de nouvelle Doxa (l'ensemble des valeurs communément partagées par une collectivité, comme l'opinion de la majorité, i.e. ce dont on ne discute pas). Les rapports qui la promeuvent , et que l'on analysera en profondeur sont d'ailleurs des rapports

« officiels ».

Surtout, cette présentation prend d'emblée les activités scientifiques dans les plis de la technoscience industrielle et fait de cette dernière la seule catégorie de la pensée (du) futur (e). Elle permet, au passage, de formuler l'hypothèse que si les savoirs scientifiques ont pu être au cœur de grands paradigmes, cette place tend désormais à être occupée par les technologies .

On se fixe dans ce projet comme objectif principal de mieux comprendre la dynamique des représentations sociales de cette convergence, et les modèles culturels et sociétaux dont elle est porteuse, quelles qu' en soient la substance signifiante ou l'origine (scientifiques ou technologues, médias, grand-public, agences gouvernementales,...). En particulier, nous postulons que les représentations qui s'esquissent ici relèvent d'un nouvel « imaginaire technologique et sociétal » en voie de constitution qui sera lourd d'implications quant aux conceptions de « l'humain », du « sujet », du « corps », mais aussi du « lien social », de l' « intimité », du « travail, » etc...

Les résultats des travaux menés dans ce projet auront vocation à être une production de connaissances en soi (articles, interventions dans des colloques), mais aussi à être directement utilisés par les autres projets, notamment ceux de l'axe 2 du cluster.

Les travaux de recherche seront menés en relation « critique » avec les équipes du CEA engagées dans le pôle Minatec, et notamment dans les activités « d' ouverture vers la ville » de celui-ci. Plus généralement, cette collaboration, qui s'exerce d'ailleurs sur d'autres terrains, marque une volonté de donner aux SHS une place croissante dans le déploiement des politiques technologiques.

Durée du projet

4 ans

Ex FSC

RTFLASH
Recherche & Technologie

Publié sur *www.rtflash.fr* (http://www.rtflash.fr)

Accueil > Les nanotechnologies, prochaine révolution de la médecine

Les nanotechnologies, prochaine révolution de la médecine

Par *admin*
Créé le *14/05/2004 - 23:00*

Edito : Les nanotechnologies, prochaine révolution de la médecine

Samedi, 15/05/2004 - 00:00 0 commentaire

- Diminuer la police
- Augmenter la police
- Envoyer à un amis
- Imprimer
- Version PDF

zoom

On parle beaucoup des futures et prometteuses applications des nanotechnologies dans le domaine de l'électronique où la miniaturisation par les méthodes actuelles de gravure sur silicium devrait atteindre ses limites vers 2015. Mais il est un autre domaine dans lequel les nanotechnologies vont permettre une révolution technologique au moins aussi importante : la médecine et la biologie. Dans leur rapport présenté la semaine dernière et intitulé "Nanosciences et progrès", les sénateurs Jean-Louis Lorrain (UMP, Haut-Rhin) et Daniel Raoul (PS, Maine-et-Loire), membres de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (Opecst), mettent bien en lumière les grands axes de cette évolution scientifique : la nano-exploration et le nano-diagnostic, les nanomédicaments, les neuroprothèses et enfin l'ingénierie tissulaire, destinée à remplacer des tissus ou organes. Concrètement, au cours de ces derniers mois, plusieurs publications scientifiques sont

venues confirmer à quel point les nanotechnologies étaient en train de se diffuser dans le domaine biologique et médical, à la fois en tant qu'outils de recherche puissants et comme moyens thérapeutiques très prometteurs. C'est ainsi que tout récemment, des chercheurs de la Rice University à Houston ont expérimenté un système de nanoballes en or capable de détruire des types de cancers inopérables (voir article "Des nanoballes contre le cancer dans @RT-Flash 272). Ces nanoballes sont constituées de petites particules de silice d'un diamètre de 110 nm, recouvertes d'une couche d'or épaisseur 10 nm s'échauffant quand une lumière se situant dans l'infrarouge proche est envoyée sur les particules, détruisant les cellules cancéreuses à proximité. Les chercheurs ont réussi à fabriquer des nanoballes capables de cibler les tumeurs et à lier ces nanoballes à des anticorps qui se fixent uniquement aux cellules cancéreuses. Cette nouvelle technique va être expérimentée sur des patients souffrant de graves cancers des poumons. Toujours en matière de lutte contre le cancer, James Baker, de l'Université du Michigan, essaye d'équiper ces nanoparticules de systèmes moléculaires chargés de diriger les médicaments vers une cellule. Ainsi, Baker a-t-il eu recours à des polymères sphériques connus sous l'appellation de dendrimères pour transporter dans une cellule du méthotrexate, un produit qui attaque certains types de cellules cancéreuses. Lors d'expériences en laboratoire réalisées sur des cellules tumorales, le méthotrexate a éliminé cent fois plus de cellules cancéreuses quand il était administré par le biais de nanoparticules que quand il était simplement ajouté à la culture des cellules. D'autres recherches passionnantes, menées par Alberto Bianco au CNRS à Strasbourg viennent de montrer que les nanotubes de carbone peuvent être utilisés pour pénétrer à l'intérieur du noyau des cellules pour y livrer médicaments et vaccins. "Ces recherches n'en sont qu'à leur début" souligne Alberto Bianco, "mais tout nous laisse penser que les nanotubes pourront un jour servir d'outils d'une incroyable précision pour modifier l'ADN à l'intérieur du noyau ou acheminer, dans une partie précise de la cellule, un médicament". De l'autre côté de l'Atlantique, à Université d'Harvard, des scientifiques américains ont mis au point des nanosondes, plus petites que la largeur des cheveux humains, qui ont révélé une sensibilité 1.000 fois plus grande que les puces standard à ADN. Ces nanosondes ont été testées avec succès pour détecter la mutation génétique spécifique de la fibrose cystique. Selon les chercheurs, ces nanosondes ultrasensibles pourraient être, d'ici 5 ans, à la disposition des chirurgiens et des médecins. Selon le Professeur Charles Lieber, qui dirige ces recherches, ces nanosondes constitueraient une véritable révolution en matière de diagnostic : il suffirait en effet de les utiliser sur une goutte de sang, un peu de salive ou d'urine pour détecter en quelques minutes une maladie génétique ou un virus. D'autres scientifiques américains réunis au sein de la NanoSystems Biology Alliance, tentent de construire les nano-outils qui pourraient un jour suivre en temps réel la vie à l'intérieur de la cellule. Ces outils très prometteurs se composent de batteries de nanosondes capables de détecter des milliers de protéines sécrétées par une cellule. Jim Heath et son équipe à l'Institut technologique californien, à Pasadena, travaillent par exemple sur une puce au silicium d'un centimètre carré qui combinera plusieurs tests et qui pourrait être disponible dans un futur proche. Cette puce réunira plus de 1000 nanocâbles semi-conducteurs d'un diamètre de 8 nm chacun et espacés de seulement 8 nm. Chacun de ces nanocâbles pourrait porter un anticorps ou un oligonucléotide différent, ou encore une courte séquence d'ADN permettant de reconnaître des séquences précises d'ARN (acide ribonucléique). "Avec une seule puce, nous pourrons réaliser mille expériences sur la même cellule", dit Jim Heath. D'autres scientifiques américains de l'Université du Nord Ouest (Illinois) sont parvenus à faire "pousser" des neurones en utilisant des nanostructures marquées par un signal biologique spécifique. Ces chercheurs ont conçu des molécules synthétiques qui favorisent la croissance des neurones, dans la perspective plus lointaine de pouvoir réparer les lésions de la moelle épinière entraînant des paralysies. Samuel I. Stupp et son équipe ont réussi à produire de manière sélective des cellules nerveuses différenciées en utilisant un réseau tridimensionnel des

nanofibres, une technique très prometteuse en médecine régénératrice. De leur côté, des chercheurs de l'université d'Indiana, à Bloomington, pensent qu'il est possible, en exploitant les propriétés de la spectroscopie de Raman (qui permettent de détecter des "signatures lumineuses spécifiques de très faible intensité, d'utiliser des virus associés à des particules d'or pour obtenir des"nano-appareils-photo" capables de photographier avec un précision extraordinaire (de l'ordre de 30 nanomètres) les événements se déroulant à l'intérieur de virus ou de cellules vivantes. Il serait alors possible d'observer des phénomènes biologiques au niveau moléculaire avec une souplesse et une précision bien supérieure à celles du microscope électronique. Enfin, des chercheurs du Massachusetts Institute of Technology (MIT) et de l'Université du Texas à Austin sont parvenus, il y a quelques semaines, à modifier génétiquement un virus commun pour en faire un support de synthèse de nanostructures. En fournissant ensuite les bons éléments au bon moment, la coque modifiée de ce virus joue un rôle de canevas sur lequel vont se développer des cristaux réguliers parfaitement agencés. Enfin, il y a quelques jours, des chercheurs de l'Institut Weizmann en Israël, ont mis au point un "ordinateur moléculaire" composé essentiellement d'un mélange d'ADN de synthèse et d'enzymes. A terme, cet ordinateur pourrait détecter les premiers signes chimiques de la maladie cancéreuse et libérer alors des médicaments anticancéreux (voir article dans la rubrique biotechnologies de @RT-Flash 289). Une des conséquences les plus remarquables de cet essor foisonnant des nano biotechnologies est le décloisonnement des disciplines scientifiques impliquées et la coopération de plus de plus étroite entre physiciens, chimistes biologistes et informaticiens au sein de groupes de recherches "transversaux". Ces quelques exemples récents montrent à quel point les nanotechnologies sont déjà en train de révolutionner la médecine et la biologie et doivent concentrer un effort de recherche exceptionnel au cours de ces prochaines années si nous voulons que notre pays reste compétitif dans le domaine stratégique des sciences du vivant et des biotechnologies.

RenéTRÉGOUËT

Sénateur du Rhône

Recommander cet article :

Sur google :

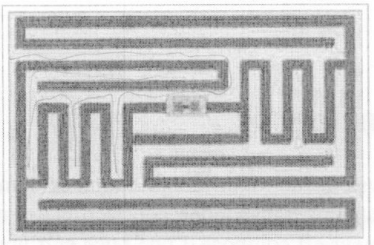
J'aime Un « J'aime ». Inscription pour voir ce qu'aiment vos amis.

- **Noter cet article :**
- **Nombre de consultations :** 2926
- **Partager :**
  - Facebook
  - Viadeo
  - Twitter
  - Wikio

URL source: http://www.rtflash.fr/nanotechnologies-prochaine-revolution-medecine/article

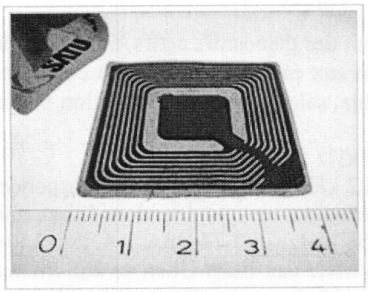
Radio-identification

La **radio-identification** plus souvent désignée par le sigle **RFID** (de l'anglais ***Radio Frequency IDentification***) est une méthode pour mémoriser et récupérer des données à distance en utilisant des marqueurs appelés « radio-étiquettes » (« *RFID tag* » ou « *RFID transponder* » en anglais)[1]. Les radio-étiquettes sont de petits objets, tels que des étiquettes autoadhésives, qui peuvent être collés ou incorporés dans des objets ou produits et même implantés dans des organismes vivants (animaux, corps humain[2]). Les radio-étiquettes comprennent une antenne associée à une puce électronique qui leur permet de recevoir et de répondre aux requêtes radio émises depuis l'émetteur-récepteur.



Une puce de radio-identification EPC utilisée par Wal-Mart

Ces puces électroniques contiennent un identifiant et éventuellement des données complémentaires.



Cette technologie d'identification peut être utilisée pour identifier :

- les objets, comme avec un code à barres (on parle alors d'étiquette électronique) ;
- les personnes, en étant intégrée dans les passeports, carte de transport, carte de paiement (on parle alors de carte sans contact).

Sommaire

1 Principe
1.1 Lecteurs
1.2 Radio-étiquettes
2 Contraintes
2.1 Vie privée
2.2 Obstacles
2.2.1 Environnement métallique
2.3 Collisions
3 Utilisations
3.1 Marquage d'objets
3.2 Transactions financières
3.3 Marquage d'êtres vivants
4 Marché des RFID
5 Applications
5.1 Applications existantes
5.2 Applications potentielles
5.3 Galerie
6 Risques
6.1 Protection de l'individu
6.2 Défaut de sécurité ?

7 Références religieuses
8 Notes et références
9 Voir aussi
9.1 Bibliographie
9.2 Articles connexes
9.3 Liens externes

Principe

Un système de radio-identification se compose de marqueurs, nommés radio-étiquettes ou transpondeurs (de l'anglais transponder, contraction des mots transmitter et responder) et d'un ou plusieurs lecteurs. Un marqueur est composé d'une puce et d'une antenne.

Lecteurs

Ce sont des dispositifs actifs, émetteurs de radiofréquences qui vont activer les marqueurs qui passent devant eux en leur fournissant à courte distance l'énergie dont ceux-ci ont besoin. La fréquence utilisée est variable, selon le type d'application visé et les performances recherchées[3] :

- 125 kHz ;
- 134,2 kHz pour la charge du transpondeur ; 134,2 kHz pour un bit 0 et 123,2 kHz pour un bit 1 pour la réponse du transpondeur dans le cas d'une transmission FSK (Texas Instruments Series 2000) ;
- 13,56 MHz (ISO 14443A 1-4, ISO 14443B 1-4, ISO 15693-3 et ISO 18000-3) ;
- 915 MHz aux États-Unis, de 865 MHz à 868 MHz dans l'Union européenne pour l'UHF (EPCglobal et ISO 18000-6c ; les fréquences et les puissances d'émission dépendent des législations en vigueur) ;
- 2,45 GHz ou 5,8 GHz (micro-ondes).

Une fréquence plus élevée présente l'avantage de permettre un échange d'informations (entre lecteur et marqueur) à des débits plus importants qu'en basse fréquence. Les débits importants permettent l'implémentation de nouvelles fonctionnalités au sein des marqueurs (cryptographie, mémoire plus importante, anti-collision). Par contre une fréquence plus basse bénéficiera d'une meilleure pénétration dans la matière.

L'anti-collision est la possibilité pour un lecteur de dialoguer avec un marqueur lorsque plus d'un marqueur se trouvent dans son champ de détection. Plusieurs algorithmes d'anti-collision sont décrits par les normes (ISO 14443, ISO 15693 et ISO 18000).

Radio-étiquettes

Ce sont des dispositifs passifs, ne nécessitant aucune source d'énergie en dehors de celle fournie par les lecteurs au moment de leur interrogation. Auparavant, la lecture des puces passives était limitée à une distance d'environ 10 mètres, mais maintenant, grâce à la technologie utilisée dans les systèmes de communications avec l'espace lointain, cette distance peut s'étendre jusqu'à 200 mètres[4].

Outre de l'énergie pour l'étiquette, le lecteur envoie un signal d'interrogation particulier auquel répond l'étiquette. L'une des réponses les plus simples possibles est le renvoi d'une identification numérique, par exemple celle du standard EPC-96 qui utilise 96 bits. Une table ou une base de données peut alors être consultée pour assurer un contrôle d'accès, un comptage ou un suivi donné sur une ligne de montage, ainsi

que toute statistique souhaitable.

Le marqueur est extrêmement discret par sa finesse (parfois celle d'une feuille de rhodoïd), sa taille réduite (quelques millimètres), et sa masse négligeable. Son coût étant devenu minime, on peut envisager de le rendre jetable, bien que la réutilisation soit plus « écologiquement correcte ».

Le marqueur se compose :

- d'une antenne ;
- d'une puce de silicium ;
- d'un substrat et/ou d'une encapsulation.

Notons aussi l'existence des marqueurs « actifs » et « semi-actifs » (aussi appelés BAP, (en) *Battery-Assisted Passive tags*, (fr) *marqueurs passifs assistés par batterie*) qui incluent une batterie.

Les étiquettes actives sont équipées d'une batterie leur permettant d'émettre un signal. De ce fait, ils peuvent être lus depuis de longues distances, contrairement aux marqueurs passifs. Cependant, une émission active d'informations signale à tous la présence des marqueurs et pose des questions quant à la sécurité des marchandises.

Les étiquettes semi-actives n'utilisent pas leur batterie pour émettre des signaux. Elles agissent comme des étiquettes passives au niveau communication. Mais leur batterie leur permet, par exemple, d'enregistrer des données lors du transport. Ces étiquettes sont utilisées dans les envois de produits sous température dirigée et enregistrent la température de la marchandise à intervalle régulier.

Contraintes

Vie privée

La CNIL dans son rapport annuel du 16 mai 2008 s'inquiète des risques de traçabilité des individus qui n'ont pas accès à leurs données.

Obstacles

Environnement métallique

La lecture de radio-étiquettes posées sur des objets situés dans un conteneur métallique est plus difficile. La distance de communication possible est diminuée, par effet de cage de Faraday, qui réalise un blindage électromagnétique.

Collisions

Lorsque plusieurs marqueurs se trouvent dans le champ d'un même lecteur, les communications sont brouillées par l'activité simultanée des marqueurs.

La détection de la collision est en fait une détection d'erreur de transmission, à l'aide d'un bit de parité, d'une somme de contrôle ou d'une fonction de hachage. Dès qu'une erreur est détectée, l'algorithme d'anticollision est appliqué.

Plusieurs méthodes d'anticollision ont été développées. Voici les quatre principales :

- La méthode fréquentielle : Chaque marqueur communique sur une plage de fréquences différente avec le lecteur. En pratique, c'est inutilisable à grande échelle.
- La méthode spatiale : Avec une antenne directionnelle et à puissance variable, le lecteur va couvrir petit à petit chaque partie de l'espace pour communiquer avec chaque marqueur et l'inhiber, en attendant de le réactiver pour ensuite communiquer avec. En pratique, la présence de deux marqueurs à faible distance l'un de l'autre rend cette méthode inefficace.
- La méthode temporelle : Le lecteur propose aux marqueurs une série de canaux de temps dans lesquels ils peuvent répondre. Les marqueurs choisissent de façon aléatoire le canal de temps dans lequel ils vont répondre. Si un marqueur est le seul à répondre dans ce canal de temps, il est détecté et inhibé par le lecteur. S'il y a plusieurs marqueurs qui répondent en même temps, il sera nécessaire d'effectuer à nouveau cette méthode. Petit à petit, tous les marqueurs sont connus et inhibés ; il suffit alors au lecteur de réactiver le marqueur avec lequel il souhaite communiquer. En pratique, le côté aléatoire fait que la durée de cette méthode est inconnue.
- La méthode systématique : Il existe de nombreux brevets décrivant des méthodes systématiques. Cette méthode consiste à détecter puis inhiber tour à tour tous les marqueurs en parcourant l'arbre de toutes les possibilités d'identifiants (par exemple, le lecteur envoie une requête du type « Tous les marqueurs dont le premier bit d'identification est 1 doivent se manifester. » Si un seul marqueur se manifeste, le lecteur l'inhibe, et s'intéresse ensuite aux marqueurs avec pour premier bit 0, et ainsi de suite). En pratique, cette méthode peut parfois s'avérer longue.

Utilisations

Marquage d'objets

- Système implanté d'identification et mémorisation : de manière courante, des puces basse fréquence (125 à 135 kHz) sont utilisées pour la traçabilité d'objets (ex : fûts de bière). La traçabilité d'objets tels que des livres dans les librairies et les bibliothèques ou la localisation des bagages dans les aéroports utilise plutôt la classe haute fréquence (13,56 MHz).
- contrôle d'accès ; il se fait par badge de *« proximité »* ou *« mains-libres »*.
  Certaines *« clés électroniques »* d'accès sont des marqueurs permettant la protection *« sans serrures »* de bâtiments ou portières automobiles.
  Les badges mains-libres, permettent une utilisation jusqu'à 150 cm (selon le type d'antenne utilisée). Ils peuvent contenir une Identité numérique ou un certificat électronique ou y réagir et permette l'accès à un objet communicant ou son activation.
  Le contrôle d'accès à des bâtiments sensibles est un domaine où le système de radio-identification remplace les badges magnétiques, permettant l'authentification des personnes sans contact. La radio-fréquence de la plupart des badges d'accès ne permet qu'une utilisation à quelques centimètres, mais ils ont l'avantage de permettre une lecture-écriture dans la puce, pour mémoriser des informations (biométriques, par exemple).
- Traçabilité distante d'objets (fixes ou mobiles) ; Par exemple, des palettes et conteneurs peuvent être suivis dans des entrepôts ou sur les docks) via des marqueurs UHF (ultra haute fréquence).
  À cette fréquence, la lecture n'est théoriquement pas possible à travers l'eau (et donc le corps humain). Cependant lors des *RFID Journal Awards 2008*, l'entreprise Omni-ID a présenté une étiquette RFID lisible à travers l'eau et à proximité de métal, avec un taux de fiabilité de 99,9%. Des marqueurs micro-ondes (2,45 GHz) permettent le contrôle d'accès à longue distance de véhicules, comme par exemple sur de grandes zones industrielles. Ces marqueurs sont généralement actifs.
- traçabilité d'aliments : Dans la chaine du froid, des aliments peuvent théoriquement être *suivis* par une puce enregistrant les variations de température.

Transactions financières

Moyen de paiement : À Hong Kong et aux Pays-Bas des marqueurs en forme de carte de crédit sont répandus comme moyen de paiement électronique (équivalent de Moneo en France).
Elles sont également utilisées à Bruxelles (Belgique) comme titre de transport sur le réseau de STIB (voir MoBIB) et désormais en France, à travers les services de paiement sans contact de Cityzi, expérimentés à Nice depuis 2010[5].

Marquage d'êtres vivants

- Identification de plantes (arbres de la ville de Paris), d'animaux d'élevage (vaches, cochons) ou d'animaux de compagnie comme les chats et les chiens (grace à une puce installée sous la peau dans le cou), d'animaux sauvages (cigognes, manchots): ce sont généralement des puces basse fréquence (125 à 135 kHz).
- Relevés scientifiques : des marqueurs sont aussi des moyens de communication pour la collecte des données issues des relevés scientifiques (monitoring) produits dans un organisme ou par des stations de mesure isolées et autonomes (stations météorologiques, volcaniques ou polaires).
- Chez l'Homme : des radio-marqueurs sous-cutanées, originellement conçus pour la traçabilité des animaux, peuvent sans aucune contrainte technique être utilisés sur des humains. La société *Applied Digital Solutions* propose ainsi ses radio-marqueurs sous-cutanés (nom commercial : VeriChip) destinés à des humains, comme une solution pour identifier les fraudes, assurer l'accès protégé à des sites confidentiels, le stockage des données médicales et aussi comme un moyen de résoudre rapidement des enlèvements de personnalités importantes.
  Combinés à des capteurs sensibles aux fonctions principales du corps humain, ces systèmes sont aussi proposés comme solution intégrée de supervision de l'état de santé d'un patient.
  Une boîte de nuit de Barcelone (Baja Beach Club) utilise des puces sous-cutanées à radiofréquence pour offrir à ses clients VIP une fonction de porte-monnaie électronique implanté dans leur corps même.
  La ville de Mexico a implanté cent soixante-dix radio-marqueurs sous la peau de ses officiers de police pour contrôler l'accès aux bases de données et aussi pour mieux les localiser en cas d'enlèvement[6]

Marché des RFID

En 2005, IBM dénombrait 4 millions de transactions RFID chaque jour.
En 2010, ce constructeur évalue à environ 30 milliards le nombre d'étiquettes RFID produites dans le monde et 1 milliard de transistors par être humain[7].

Applications

Applications existantes

- Passeports biométriques français.
- Accès aux transports publics (Marseille (carte transpass), Grenoble, Paris (Passe Navigo), Reims (Carte Grand R et tickets unitaires), Nancy, TER Lorraine, Troyes (Busséo), Bruxelles (MoBIB), Montréal, Luxembourg, Strasbourg (Carte Badgéo), Le Mans (Carte Moovéa), Lyon (Carte Técély)...).
- Télépéages d'autoroutes.
- Contrôle des forfaits dans les stations de sport d'hiver.
- Suivis industriels en chaîne de montage.

- Inventaires : Une analyse académique[8] effectuée chez Wal-Mart a démontré que la radio-identification peut réduire les ruptures d'inventaire de 30 % pour les produits ayant un taux de rotation entre 0,1 et 15 unités/jour.
- Saisie automatique d'une liste de produits achetés ou sortis du stock.
- L'Office de Tourisme des Hautes Terres de Provence (Alpes-de-Haute-Provence) a créé des promenades où les familles vont de lieux en lieux, en glanant des indices que leur dévoilent de faux rochers, dans lesquels sont dissimulés des haut-parleurs, qui se mettent en marche lorsque une puce (collée sur un livret « magique ») en est approchée.
- Dans des universités comme Cornell, des cartes à radio-identification permettent aux étudiants de l'université d'accéder sans formalité à la bibliothèque vingt-quatre heures sur vingt-quatre et sept jours sur sept. Les livres sont munis eux aussi de radio-étiquettes, ce qui élimine toute perte de temps administrative lors des emprunts. Plusieurs bibliothèques sont également équipées aux Pays-Bas, où, depuis le 1er janvier 2004, chaque ouvrage acheté comporte une radio-étiquette (à base d'une puce SLI de Philips). En France, plusieurs bibliothèques ont elles aussi franchi le pas et s'équipent de matériels de radio-identification. Le mouvement est en réelle accélération, en raison du grand intérêt fonctionnel que présente cette technologie pour les bibliothèques et du prix des étiquettes, en baisse perpétuelle.
- La gestion des parcs de Vélib' à Paris et de Velo'v à Lyon, ainsi que de nombreuses autres solutions de Vélopartage et d'autopartage utilisent des puces de radio-identification[9].
- De nombreuses épreuves populaires de course à pied (comme le marathon de Paris ou le semi-marathon Marseille-Cassis) ou de cyclisme (Tour de France) ou de roller utilisent des puces de radio-identification fixées sur une chaussure, le cadre, ou le dossard de chaque participant, permettant ainsi le chronométrage individuel lors du passage des lignes de départ et d'arrivée.
- Identification de livres pour enfants par le Nabaztag:tag pour téléchargement des livres audio correspondants.
- Identification de containers de substances chimiques, de médicaments[10].
- Identification de mobilier urbain, jeux publics, d'arbres d'ornement pour maintenance et suivi[11].
- Échange de cartes de visites lors d'évènements[12]
- Implants corporels[13].
- Suivi d'un cheptel, nourriture, lactation, poids[14].

Applications potentielles

Les étiquettes "intelligentes" sont souvent envisagées comme un moyen de remplacer et d'améliorer les codes-barres de la norme UPC/EAN. Les radio-identifiants sont en effet assez longs et dénombrables pour envisager de donner à chaque objet un numéro unique, alors que les codes UPC utilisés actuellement ne permettent que de donner un numéro pour une classe de produits. Cette propriété de la radio-identification permet de tracer le déplacement des objets d'un endroit à un autre, depuis la chaîne de production jusqu'au consommateur final. C'est cette propriété qui fait que la technologie est considérée par de nombreux industriels de la chaîne logistique comme la solution technologique ultime à tous les problèmes de traçabilité, notion essentielle depuis les crises sanitaires liées aux filières alimentaires.

Cependant les solutions de radio-identification, bien qu'opérationnelles, souffrent d'un manque de normalisation. La jungle des solutions proposées par les différents fabricants rend la traçabilité universelle difficile à réaliser.

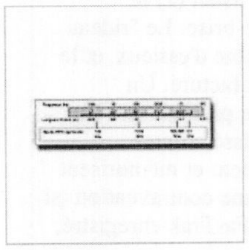
EPCglobal[15] est une organisation qui travaille dans ce sens sur une proposition de standard international afin de normaliser les usages techniques de radio-identification. Le but est de pouvoir disposer d'un système de distribution homogène des identifiants afin de disposer d'un EPC (*electronic product code* ou code produit électronique) pour chaque objet présent dans la chaîne logistique de chaque entreprise du monde.

Les propriétés des radio-étiquettes permettraient également d'envisager des applications à destination du

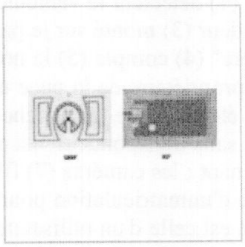
consommateur final, comme :

- un réfrigérateur capable de reconnaître automatiquement les produits qu'il contient, mais aussi capable de contrôler les dates limites d'utilisation optimale (DLUO) des produits alimentaires périssables ;
- l'identification des animaux grâce à l'implantation d'une puce (déjà obligatoire en Belgique et en Suisse pour les chiens et les chats[16]) ; obligatoire en France pour tous les équidés depuis le 1er janvier 2008.
- le marquage des vêtements ;
- l'identification des adresses postales (UAID), des cartes d'identité (INES).
- l'enlèvement des nouveau-nés. En France, la clinique de Montfermeil utilise des bracelets équipés de puce RFID.
- la lutte contre la contrefaçon avec des puces plus difficiles à imiter que les code-barres classiques
- le stade d'avancement d'un produit dans sa chaîne de fabrication (automobile)
- l'identification des produits pour un passage plus rapide en caisse
- l'identification d'utilisateurs de différents biens ou services, comme par exemple le rechargement de véhicules électriques[17].

Galerie

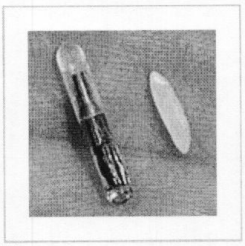


Bandes de fréquences possibles et légales



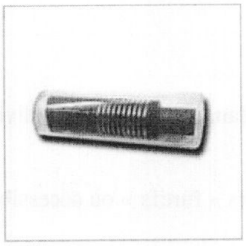
Antennes d'étiquettes (UHF et HF)

matériel d'insertion et puce d'identification animale (fréquence : 2khz)

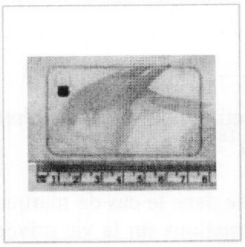


Comparaison de taille d'une puce sous-cutanée et d'un grain de riz.

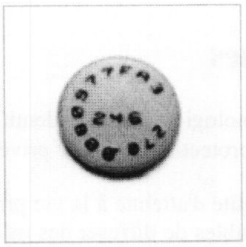
Lecteur et puce insérée dans le cou d'un chien.



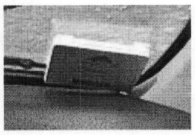
Puce RFID encapsulée, de 5 cm (125 KHz)



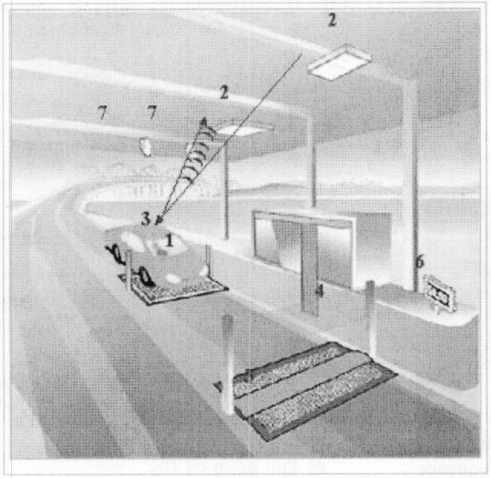
BMicro-puce contenant des données biométriques, insérée dans un passeport



Puce RFID passive (Chip Rfid Ario 370DL) en *« bouton »*, adaptée aux uniformes et textiles (Résistance aux traitement en blanchisseries)



Transpondeur *Fast-track* sur pare-brise, utilisé par exemple pour le péage urbain (accroche velcro)



Péage (en) FasTrak (littéralement : (fr) *VoieRapide*) : Système de télépéage automatique, sans arrêt du conducteur. Dans la voie de péage, des capteurs (1) détectent le véhicule. lisent (2) le transpondeur (3) monté sur le pare-brise. Le "rideau de lumière" (4) compte (5) le nombre d'essieux, et le compte-propriétaire de la puce est facturé. Un panneau électronique (6) affiche le prix facturé. Un véhicule sans transpondeur, est classé comme contrevenant ; les caméras (7) filment et mémorisent la plaque d'immatriculation pour une contravention (si la plaque est celle d'un utilisateur FasTrak enregistré, il ne paiera que le prix du péage)

Risques

Les technologies de radio-identification pourraient s'avérer dangereuses pour l'individu et la société (ex : santé et protection de la vie privée)[18], avec :

- Possibilité d'atteinte à la vie privée dans le cas de marqueurs « furtifs » ou accessibles à des systèmes susceptibles de diffuser des informations sur la vie privée.
- Utilisation d'informations contenues par les marqueurs de passeports pour agresser sélectivement et par simple proximité physique les ressortissants de certaines nationalités
- « Marquage » abusif et facilité de personnes ayant acheté ou emprunté certains types de films, livres (politique, religion, etc.) comme « indésirables » dans les fichiers d'employeurs potentiels ou d'un État répressif (possible à l'heure actuelle sans cette technologie).
- Problèmes potentiels de « souveraineté numérique/économique » liés à l'infrastructure du réseau EPCGlobal, notamment s'agissant de l'administration, par contrat, de sa racine (onsepc.com) par un acteur privé (américain)
- La puce sous-cutanées pose des questions éthiques et de droit à l'intégrité physique. La limitation au volontariat et consentement éclairé n'assure pas de garantie de respect de la vie privée (Cf. charte des droits de l'homme, et en Europe, la Charte des droits fondamentaux de l'Union européenne) ; dans certains contexte des personnes refusant ces étiquettes sous-cutanées risquent d'être victime de

discriminations.

- Identification de personnes par une signature de l'ensemble des étiquettes d'identification par radiofréquences (cartes bancaires, téléphone mobile, pass de transports en commun...) habituellement portées (cf. brevet IBM : Identification and Tracking of Persons Using RFID Tagged Objects par ex.)
- Génération de signaux radio-fréquences pourraient s'avérer dangereux pour la santé (effets suspectés d'un smog électromagnétique croissant...) et cancers dans le cas d'expériences sur la souris[19] ou interférant avec le fonctionnement des appareils bio-médicaux[20].
  L'AFSSET recommande de poursuivre la veille scientifique sur la recherche d'effets biologiques des rayonnements liés au RFID, dans un rapport publié le 26 janvier 2009[21].

Protection de l'individu

La législation française prévoit une certaine protection de la vie privée en interdisant :

- le contrôle clandestin (toute identification doit faire l'objet d'une indication visible) ;
- l'usage des mêmes appareils pour le contrôle d'accès et le contrôle de présence.

Selon l'association allemande FoeBuD, la législation n'est pas assez restrictive pour la technologie de radio-identification et la protection des informations personnelles[22].

Certaines associations proposent des outils pour se protéger d'une utilisation non autorisée de la radio-identification, tel que RFID Guardian[23].

D'autres associations proposent le boycott de cette technologie qu'elles estiment liberticide[24]. Selon elles, le fichage d'informations non contrôlables dans une carte d'identité électronique serait préjudiciable à la liberté des individus[25].

Défaut de sécurité ?

Un groupe de hackers a annoncé à la convention bi-annuelle Sixth HOPE à New York avoir cracké (cassé) les sécurités de la fameuse puce sous-cutanée[26]. Ils prétendent aussi avoir pu la cloner. Ils estiment que la législation est trop souple avec cette technologie, au regard de son potentiel d'atteinte à la vie privée et de fuite d'information.

Références religieuses

Une référence à l'Apocalypse de Saint-Jean a été faite par certains auteurs, qui voient dans ce genre de puce la marque de la bête, "sans laquelle nul ne pourra acheter ou vendre" : ce sera peut-être le cas dans le futur avec ces puces, qui feront office de porte-feuille. C'est déjà le cas actuellement dans certains pays (voir plus haut).

> « Il lui fut donné d'animer l'image de la bête, de sorte qu'elle ait même la parole et fasse mettre à mort quiconque n'adorerait pas l'image de la bête. A tous, petits et grands, riches et pauvres, hommes libres et esclaves, elle impose une marque sur la main droite ou sur le front. Et nul ne pourra acheter ou vendre, s'il ne porte la marque, le nom de la bête ou le chiffre de son nom. C'est le moment d'avoir du discernement : celui qui a de l'intelligence, qu'il interprète le chiffre de la bête, car c'est un chiffre d'homme : et son chiffre est six cent soixante-six. »

Chapitre 13, versets 15 à 18 (Traduction œcuménique de la Bible) de l'Apocalypse de Saint-Jean

concernant la Bête et son nombre.

Notes et références

1. legifrance.gouv.fr - décision de la Commission générale de terminologie et de néologie sur le terme français *radio-identification*, le 9 septembre 2006 (http://www.legifrance.gouv.fr/imagesJOE/2006/0909/joe_20060909_0209_0097.pdf) [PDF]
2. lefigaro.fr - Le premier homme contaminé par un virus informatique (http://www.lefigaro.fr/sciences-technologies/2010/05/26/01030-20100526ARTFIG00686-le-premier-homme-contamine-par-un-virus-informatique.php)
3. http://www.guideinformatique.com/fiche-rfid-470.htm
4. Mojix redéfinit la distance de lecture pour les systèmes RFID passifs (http://www.radiorfid.com/?p=20) , Radio RFID
5. http://www.cityzi.fr/infos/villes/nice/reglez-vos-achats-avec-le-service-m-carte-credit-mutuel
6. - Mexico's Rich Embedding GPS-Assisted RFID Tags Under Their Skin In Case of Kidnapping (http://gizmodo.com/5040538/mexicos-rich-embedding-gps+assisted-rfid-tags-under-their-skin-in-case-of-kidnapping)
7. Smart Objects: IBM Global Technology Outlook 2005.
8. Recherches RFID portant sur la réduction des ruptures de stock chez Wal-Mart (http://www.radiorfid.com/?p=10) , Radio RFID
9. filrfid.org - Vélib et radio-identification (http://www.filrfid.org/article-7008948.html)
10. Advanco (http://www.advanco.com/) et Sanofi, ou IBIZZ (http://www.ibizz.fr/) et Pfizer pour la traçabilité des médicaments.
11. Analogon (http://www.analogon.fr) suivi et maintenance de matériel urbain, jeux publics, arbres d'ornement.
12. DMD Associates (http://www.dmdassociates.com/) spécialiste de l'échange de cartes de visites électroniques par RFID
13. Maintag (http://www.maintag.com/) implants corporels.
14. Maintag (http://www.maintag.com/) contrôle de la lactation.
15. epcglobalinc.org (http://www.epcglobalinc.org)
16. Jean-Baptiste Waldner, *Nanocomputers & Swarm Intelligence*, Londres, ISTE, 2007, 242 p. (ISBN 9781847040022)
17. http://www.avem.fr/actualite-mondial-2010-les-bornes-de-recharge-technolia-1778.html
18. Dossier futura-sciences (http://www.futura-sciences.com/fr/comprendre/dossiers/doc/t/technologie/d/puce-rfid-mythes-et-realites-du-big-brother-miniaturise_559/c3/221/p1/)
19. Les puces RFID à l'origine de cancers chez les souris (http://www.reflexiences.com/actualite/puces-rfid-cancer/)
20. van der Togt R, Jan van Lieshout E, Hensbroek R, Beinat E, Binnekade JM, Bakker PJM, *Electromagnetic interference from radio frequency identification inducing potentially hazardous incidents in critical care medical equipment* (http://jama.ama-assn.org/cgi/content/short/299/24/2884) , JAMA, 2008;299:2884-2890
21. Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (http://www.reseaux-telecoms.net/fichiers/dossierpdf/rapport-sur-le-rfid-de-l-afsset.pdf) - AFSSET, 26 janvier 2009 [PDF]
22. (de) Association allemande FoeBuD pour prévenir les abus potentiels des radio-marqueurs (http://www.foebud.org)
23. Libération/écrans - Interview de Mélanie Rieback (juin 2006) (http://www.ecrans.fr/Il-faut-reflechir-aux-implications.html)
24. Pièces et main d'œuvre - RFID : la police totale (http://www.piecesetmaindoeuvre.com/IMG/pdf/RFID_la_police_totale.pdf) [PDF]
25. L'En Dehors - Vers un contrôle social policier sans faille (http://endehors.org/news/vers-un-controle-social-policier-sans-faille)
26. Annonce de cassage des sécurités de la puce sous-cutanée (http://www.hopenumbersix.net/)

Voir aussi

Bibliographie

- Michel Alberganti, *Sous l'œil des puces, la RFID et la démocratie*, Actes Sud 2007
- Philippe Lemoine, « Communication de M. Philippe Lemoine relative à la radio-identification (http://www.cnil.fr/fileadmin/documents/approfondir/rapports/RFID_communication.pdf) » sur *www.cnil.fr (http://www.cnil.fr/index.php?id=1063)* , CNIL, 30 octobre 2003 [PDF]
- Pièces et Main d'Œuvre, *RFID : la police totale*, éditions de L'Échappée, 2008, 80 p.
- Michel Alberganti et Pierre Georget, *La RFID : Quelles menaces, quelles opportunités ?*, Prométhée, coll. Pour ou contre ?, Bordeaux, 2008 (ISBN 978-2916623030)

Articles connexes

- Internet des objets
- Contrôle d'accès
- Fichage
- Identité numérique
- Puce sous-cutanée
- Communication en champ proche
- Exploration de données
- Billet électronique
- Distance-bounding protocol

Liens externes

- (en) Archive of the RFID Consultation Website of the European Commission: a service by CE RFID (http://www.rfidconsultation.eu) (traduction (http://www.nijaba.info/wiki/index.php/Traduction_de_la_Consultation_RFID))
- (fr) Portail francophone de la RFID (http://www.rfidfr.org/)
- (fr) Tracenews : portail d'actualité sur la traçabilité et la RFID (http://www.tracenews.info/)
- (fr) Rapport d'évaluation des impacts sanitaires par l'AFSSET paru en mars 2009 (http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/726108694775617668756800952202/RFID_Afsset_janvier_2009.pdf)

Ce document provient de « http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Radio-identification&oldid=74797861 ».

Dernière modification de cette page le 26 janvier 2012 à 22:28.
Droit d'auteur : les textes sont disponibles sous licence Creative Commons paternité partage à l'identique ; d'autres conditions peuvent s'appliquer. Voyez les conditions d'utilisation pour plus de détails, ainsi que les crédits graphiques. En cas de réutilisation des textes de cette page, voyez comment citer les auteurs et mentionner la licence.
Wikipedia® est une marque déposée de la Wikimedia Foundation, Inc., organisation de bienfaisance régie par le paragraphe 501(c)(3) du code fiscal des États-Unis.

(Ex CNRS-CEA)

- Fondation Sciences Citoyennes - http://sciencescitoyennes.org -

L'étiquetage biométrique des individus

Par Fabien Piasecki le 9 janvier 2012 @ 15 h 00 min dans Fiches didactiques | No Comments

Biométrie, RFID, NBIC, nanotechnologies : un flot de néologismes s'immisce dans notre vocabulaire pour désigner des développements technologiques plus ou moins récents, qui pourraient avoir un impact important sur la société de demain. Les développements récents de la biométrie permettent d'interroger les visions du monde et les impacts sur le fonctionnement démocratique de nos sociétés dont ces technologies sont porteuses.

Mot(s)-clé(s) : biométrie, nanotechnologies, RFID (radio frequency identification), technologies convergentes, NBIC (nano-bio-info-cogno)

Public(s) visé(s) : tous

Définition des concepts et notions utilisés :

- *RFID :* Le traçage des animaux en élevage, le 'Vérichip' sous la peau pour rentrer dans des discothèques, des cartes d'identité et passeports électroniques – les technologies d'identification par fréquence radio (RFID) sont des systèmes qui permettent la localisation, l'identification et l'authentification d'objets de tous types (logistique, gestion de matériel, automatisation industrielle, services etc). Un nombre croissant de compagnies fournit désormais des produits en « protection de l'enfant », « identification de patients », « pistage des biens », « identification d'animaux », « contrôle d'accès » (également avec des chips implantables sous la peau). Leur utilisation soulève des questions liées aux libertés individuelles et à l'accès à des informations personnelles.

- *Biométrie :* Empreintes digitales, forme de la main, iris, rétine, signature, voix (locuteur), visage, réseau veineux … le mot biométrie signifie « mesure du vivant » et s'appuie sur la prise en compte d'éléments biologiques, comportementaux ou physiologiques uniques et propres à chaque individu à des fins de reconnaissance, d'authentification et d'identification de personnes. Les techniques biométriques servent principalement à des applications dans le domaine de la sécurité. Elles sont en pleine croissance et s'associent à d'autres technologies de sécurité. La biométrie est devenue une norme internationale définissant des paramètres de la gestion des populations. Elle met en place une surveillance globale à laquelle participent des états, acteurs privés et transnationaux.

Contexte – État des lieux : Plus que jamais, penser le corps c'est penser la norme. A cette normalisation du corps s'ajoute la nécessité de sa surveillance. D'ailleurs, l'industrie de la surveillance a un point commun avec la biologie moléculaire : elle se loge dans le corps d'abord, avant de se relier au satellite et à la Toile. Les corps deviennent traçables, tout comme les marchandises, selon les mêmes processus d'étiquetage et d'identification par code barre.

Du coup, l'identification biométrique tient du prosaïque. Elle consiste à identifier un individu à partir d'une caractéristique physique stable. La partie du corps concernée est numérisée sous la forme d'un gabarit enregistré et stocké dans une base de données informatique. L'identification s'opère par rapprochement automatique entre le gabarit stocké (dans le fichier informatique) et la partie du corps qui lui correspond (à partir d'un terminal de lecture ou lecteur). L'identité biométrique est le code barre adapté au vivant humain et destiné à être lu par un dispositif technique de gestion (de flux).

La différence avec les anciennes formes de marquage corporel ou d'identification par le corps est évidente. « Il ne s'agit plus de signes apparents destinés à être vus ou reconnus par d'autres sujets, mais d'informations destinées à être identifiées et traitées par un dispositif technique. »[i] C'est cette opération (qui feint de sortir de la boucle du contrôle les contrôleurs eux-mêmes en tant que sujets et interprètes d'un sens à débusquer et à déchiffrer) qui, par sa radicalité, semble nouvelle. La nouveauté, quasiment inaperçue, c'est que nous sommes passés,

en moins d'un siècle, *de la reconnaissance à l'identification, de l'être reconnu socialement à l'être identifié techniquement* »[ii]

Si le coût important des technologies biométriques et la nécessité d'utiliser d'importants moyens matériels pour traiter les empreintes digitales a longtemps freiné leur développement, aujourd'hui leur coût ne cesse de décroître.

Exposé de la problématique : En mai 2008, le décret autorisant la généralisation, en France, du passeport biométrique, passe dans une indifférence générale. Ce décret prévoit la création d'un fichier central comportant les photographies des demandeurs de passeport et les empreintes digitales de leurs huit doigts, ce qui va au-delà de ce qui est prévu par la législation européenne. Le président de la Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL), Alex Türk, s'en émeut dans une tribune en 2007 dans laquelle il dénonce l' « endormissement collectif sur les libertés »[iii]. L'utilisation des dispositifs de biométrie est pourtant subordonnée à l'accord de la CNIL. A cet égard, la CNIL n'autorise l'enregistrement des empreintes digitales dans une base centralisée que si cette technologie se justifie par un « fort impératif de sécurité ». Il s'agit, par exemple, du contrôle de l'accès aux sites nucléaires. En revanche, la CNIL refuse la mise en place de dispositifs biométriques avec une base centralisée, toujours susceptible de faire l'objet d'un détournement de son utilisation. En ce qui concerne le passeport biométrique, la Commission a estimé que le ministère n'avait pas apporté d'éléments convaincants de nature à justifier la constitution d'un tel fichier centralisé. Elle a préconisé un débat parlementaire, compte tenu de l'ampleur des enjeux. Mais n'a pas été suivie...

En fait, il n'existe quasiment pas de discours élaboré sur ces techniques. Pour la majorité, elles n'évoquent rien de particulier. Seul leur côté « pratique », « plus sûr », est mis en avant, comme est mise en avant la santé des personnes pour justifier la sélection humaine. Il est très rare que les usagers de ces dispositifs sachent comment ils fonctionnent, et tout aussi rare qu'ils cherchent à le savoir.

La perte de confiance envers les médiations sociales et l'autonomie de la société semble constituer un puissant moteur en faveur des techniques biométriques d'identification, le terreau sur lequel celles-ci pourraient être amenées à se développer. Dans cette perspective, le corps, même objectivé, inscrit dans une « mémoire technique », fonctionne ici comme un gage d'authenticité.

« *La biométrie semble faire écho, sur un mode technique, à l'érosion de la confiance, indissociable de la généralisation des échanges à distance, c'est-à-dire de l'informatisation de la société, ainsi qu'à l'effritement des cadres identitaires traditionnels. Si l'identité individuelle n'est plus attestée socialement, en référence à des appartenances collectives et des solidarités sociales, telles celles qui permettaient l'accueil des handicapés, il semble qu'elle ne puisse plus être validée et garantie que techniquement, par des dispositifs matériels. En d'autres termes, c'est au moment où les identités paraissent être le moins assurées socialement que les moyens physiques susceptibles de les stabiliser durablement apparaissent légitimes.* »[iv] L'intérêt politique récemment focalisé sur « l'identité nationale » ne devrait pas faire illusion...

Mais le fait d'accepter de déléguer à des dispositifs techniques automatisés la charge d'identifier et de contrôler, recouvre des significations contradictoires, des expériences diverses qu'il serait vain de vouloir rassembler sous un unique dénominateur. Même si cela bénéficie en dernier ressort à l'Etat ou à toute autre organisation dont l'objectif est d'étendre ses capacités de contrôle, dans l'esprit de nombreux usagers, automatiser revient à desserrer l'étreinte du pouvoir en limitant au maximum les contacts avec ses représentants ou en s'émancipant d'une réglementation dont la légitimité n'est plus reconnue. Moins visible, l'Etat donnerait le sentiment d'être moins omnipotent.

Acteur(s) impliqué(s) et nature de son (leur) implication :

- *État :* utilisation des techniques biométriques à des fins de contrôle d'individus et de sécurité (**Depuis le 28 juin 2009,** le passeport biométrique succède au passeport électronique sur tout le territoire. Il n'est plus délivré de passeport électronique.[v])
- *Industrie :* fournisseur des dispositifs techniques
- *Associations :* Certaines associations de défense des libertés individuelles (LDH, IRIS - Association Imaginons un réseau Internet solidaire, etc.) s'insurgent contre ces nouvelles

méthodes de fichage.

- *Citoyens :* obligation d'un passeport biométrique ; indifférence générale
- *CNIL :* qualifiée en tant que autorité administrative indépendante ; la CNIL adopte des délibérations portant sur des traitements ou des fichiers (avis ou autorisation), elle examine aussi des projets de loi et de décrets soumis à la CNIL pour avis par le gouvernement.

Enjeux : Quelle place des techniques de surveillance de plus en plus sophistiquées dans une société démocratique ? Quelle place pour la démocratie dans une société de surveillance ? « Plus généralement ces projets devraient mener à de nouveaux types de fichage des individus, encore plus précis et permettre tout à la fois le renouvellement et le développement des données déjà existantes dans les fichiers actuels de Police et du Gouvernement. ... En effet, l'utilisation de la biométrie, en elle-même pose de nombreux problèmes philosophiques, sociologiques et politiques qui sont d'autant plus exacerbés lorsque les données biométriques sont massivement stockées dans des fichiers centralisés. Ces constatations font dès lors apparaître une confrontation entre deux intérêts divergents : d'une part la volonté de sécuriser toujours plus les rapports entre les individus, et d'autre part la nécessaire protection de la vie privée. »[vi]

Les techniques sécuritaires risquent plutôt d'accroître le sentiment d'insécurité car « elles vont se traduire, comme tout processus d'automatisation, par la suppression de médiations sociales ou humaines » (G. Dubey)

« *La signification sociale de la biométrie est, en fait, pour le meilleur et pour le pire, marquée par l'ambiguïté. Le manque apparent de résistance, et l'apparente acceptabilité sociale de ces techniques, pour parler la langue des industriels, ne signifient pas qu'elle ne suscite pas d'inquiétudes ni ne fait naître la conscience diffuse de profonds bouleversements.* »[vii] En témoigne la résistance naissante au fichage génétique généralisé. Depuis la mise en place en 1998 du Fichier National Automatisé des Empreintes Génétiques (FNAEG), le type de condamnations pénales pour lesquelles un prélèvement d'ADN est obligatoire a été largement étendu. En 2009, ce sont plus d'un million de profils génétiques qui sont contenus dans le fichier. Mais depuis 2007, des syndicalistes, des manifestants anti-CPE, des faucheurs volontaires d'OGM sont jugés et condamnés pour refus de prélèvement génétique. Ils « refusent de cracher ». Les procès sont l'occasion d'interroger la prétendue neutralité de la technique et de réinjecter les enjeux latents de démocratie et de contrôle dans le débat.

Recommandations : Organiser une convention de citoyens (voir ici [1]) sur les techniques biométriques et les conséquences de leur utilisation sur notre société.

Références utiles et non citées dans les notes :

- http://sciencescitoyennes.org/mettons-vraiment-les-nanos-en-question/ [2]
- http://sciencescitoyennes.org/survivre-aux-nanotechnologies-giga-questions-nano-visions-et-citoyennete/ [3]
- http://sciencescitoyennes.org/labo-planete-ou-comment-2030-se-prepare-sans-les-citoyens/ [4]
- Testart, J., Sinai, A., Bourgain, C. : *Labo Planète – ou Comment 2030 se prépare sans les citoyens*, Mille et une nuits, 2010
- Commission Nationale Informatique et Liberté, extrait du 22e rapport d'activité 2001 chapitre 3 : « un siècle de biométrie », http://www.cnil.fr/ [5], 2002.
- http://www.ines.sgdg.org/ [6]
- http://www.ldh-france.org/ [7]
- http://www.cnil.fr [8]
- http://wiki.univ-paris5.fr/wiki/Biom%C3%A9trie [9]

---

[i] Gérard Dubey, *in* Dialogues Sciences Planète, FSC, 11 octobre 2007.

[ii] Gérard Dubey, *ibid*.

[iii] *Le Monde*, 18 avril 2007.

[iv] Gérard Dubey, *ibid.*

[v] http://vosdroits.service-public.fr [10]

[vi] Andrieu, Ph., Gamet, O.: Biométrie : une sécurité accrue au détriment des libertés individuelles ?

[vii] Gérard Dubey, *ibid.*

Article imprimé de : **http://sciencescitoyennes.org**

adresse de l'article : **http://sciencescitoyennes.org/letiquetage-biometrique-des-individus/**

URLs in this post:

[1] ici: **http://sciencescitoyennes.org/projet-de-loi-concernant-les-conventions-de-citoyens/**
[2] http://sciencescitoyennes.org/mettons-vraiment-les-nanos-en-question/: **http://sciencescitoyennes.org/mettons-vraiment-les-nanos-en-question/**
[3] http://sciencescitoyennes.org/survivre-aux-nanotechnologies-giga-questions-nano-visions-et-citoyennete/: **http://sciencescitoyennes.org/survivre-aux-nanotechnologies-giga-questions-nano-visions-et-citoyennete/**
[4] http://sciencescitoyennes.org/labo-planete-ou-comment-2030-se-prepare-sans-les-citoyens/: **http://sciencescitoyennes.org/labo-planete-ou-comment-2030-se-prepare-sans-les-citoyens/**
[5] http://www.cnil.fr/: **http://www.cnil.fr/fileadmin/documents/approfondir/dossier/CNI-biometrie/CNIL_22eRapport.pdf**
[6] http://www.ines.sgdg.org/: **http://www.ines.sgdg.org/**
[7] http://www.ldh-france.org/: **http://www.ldh-france.org/**
[8] http://www.cnil.fr: **http://www.cnil.fr/**
[9] http://wiki.univ-paris5.fr/wiki/Biom%C3%A9trie: **http://wiki.univ-paris5.fr/wiki/Biom%8Etrie**
[10] http://vosdroits.service-public.fr: **http://vosdroits.service-public.fr/**

Sauf mention contraire, ce texte est publié sous la licence a Creative Commons Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage des Conditions Initiales à l'Identique 2.0 France License.

CAMI - Application RFID
Suivi en temps réel de matériel
Détection de sortie de zone
www.camits.ch

Sans contact Mifare RFID
Cartes et lecteurs pour PC, Accès distributeur boissons, Photocopieur
www.cartadis.com

Annonces Google

PRÉSENTATION DE LA RFID (*RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION*)

RFID et code à barres

Le terme RFID désigne un système d'identification qui comprend une étiquette électronique (ou *tag*), pour mémoriser des informations, et un lecteur.

Le transfert d'information du composant électronique vers le lecteur s'effectue par radiofréquence et non par lecture optique, comme c'est le cas pour le code à barres. Contrairement au code à barres (qui permet d'indentifier une famille de produits), l'étiquette RFID peut servir d'indentifiant unique de l'objet marqué. De plus, l'étiquette RFID peut être lue à distance ; plusieurs étiquettes peuvent même être lues en parallèle (attention cependant aux interférences).

Une solution complète de RFID comprend les étiquettes, les lecteurs et encodeurs et l'intergiciel (*middleware*). Ce dernier permet d'intégrert le flux des données dans le système d'information de l'entreprise.

Les étiquettes et les encodeurs sont construits par des entreprises comme Philips, Texas Instruments (TI), Toshiba, Printronix, ASK, Intermec ou Tagsys. Les intergiciels sont proposés des entreprises comme Oracle, Sun, IBM, Axway ou Microsoft.

Exemple

A l'avenir, les étiquettes RFID pourraient se généraliser dans les supermarchés. Lors du passage en caisse, le lecteur comptabiliserait tout ce que contient un caddy sans avoir besoin d'en faire défiler le contenu, article par article, sur un tapis roulant, comme cela se fait aujourd'hui.

Différents types de RFID

Les étiquettes peuvent être passives ou actives. Plus chères, les étiquettes actives sont dotées d'une alimentation. Elle offrent des distances de lecture supérieures. Plus économiques, les étiquettes passives ne disposent pas d'alimentation et offrent une distance de lecture réduite.

Les étiquettes diffèrent par leur fréquence : basse, haute ou très haute.

- Plus coûteuses, les étiquettes basse fréquence sont réutilisables. Elles se lisent à quelques mètres de distance.
- Les étiquettes haute fréquence (HF) coûtent au moins 50 centimes. Elles sont jetables ou réutilisables suivant les cas. La distance de lecture est inférieure à un mètre.
- Les étiquettes très haute fréquence (UHF) coûtent 15 à 25 centimes. La distance de lecture est de deux à quatre mètres. Par contre, la tolérance aux obstacles est moins bonne.

Standardisation et RFID

Les basses et hautes fréquences sont normalisées au niveau mondial. Pour lest très hautes fréquences (UHF), l'Europe, l'Asie et les Etats-Unis se distinguent par des fréquences et des réglementations différentes.

Le format des données inscrites sur les étiquettes est standardisé à l'initiative d'EPC Global (*Electronic Product Code*). EPC Global est représenté en France par GS1.

Freins à l'utilisation de la technologie RFID

Le coût plus élevé des étiquettes RFID limite pour le moment leur utilisation en lieu et place des codes à barres. En dehors du coût d'achat, le manque de standardisation est également un frein à l'adoption de la technologie dans l'industrie.

Côté grand public, c'est davantage les risques liés au respect de la vie privée qui sont soulevés : utilisation de capteurs furtifs, marquage abusif de cartaines personnes, lecture non sollicitée d'informations confidentielles,... En France, la

PUBLICITÉ

ASE Srl Carpi
Distributore prodotti e componenti RFID.
LF HF UHF.
www.aserfid.it

Annonces Google

[RSS]

CNIL considère que les étiquettes RFID sont des données personnelles au sens de la loi "Informatique et Libertés.

Applications de la RFID

- L'accès aux transports publics
- L'accès sans formalité aux bibliothèques
- Le remplacement des codes à barres dans les supermarchés
- Les postes de péage automatique sur les autoroutes
- Les applications de logistique (pour suivre l'acheminement de marchandises)

Sources

- Radio Frequency Identification
- RFID: les étiquettes intelligentes à l'assaut des codes à barres
- Entreprises RFID

Annonces Google RFID RFID UHF RFID Tags 900 MHZ RFID
© RFIDfr.Org, 2005-2012 (contact)

(Ex. CNRS-CEA)

basta!

http://www.bastamag.net/article768.html

NANOTECHNOLOGIE

Alerte aux puces électroniques

PAR IVAN DU ROY (26 NOVEMBRE 2009)

Le pôle « traçabilité » de Valence (Drôme) a été investi, le 21 novembre, par des paysans de la Confédération paysanne et un collectif de citoyens grenoblois, Pièces et main d'œuvre. Le pôle « traçabilité » est un centre de recherche national sur les puces « RFID » (Radio Frequency Identification), un système qui permet de stocker des informations dans une puce et de les transmettre à des balises. Ces puces peuvent être placées sur des produits pour « profiler » le consommateur, des titres de transports, des animaux pour les tracer, voir même sur des êtres humains par implantation cutanée : puces contenant le dossier médical de la personne aux Etats-Unis, puces implantées sur des enfants pour avertir leurs parents qu'ils ont bien franchi le portique de l'école au Japon...

Si plusieurs usages de ces puces RFID peuvent se révéler utiles s'ils sont sérieusement encadrés, le risque de dérives et de fichage est... infini. « *Nous voulons alerter tout un chacun sur les dangers de cette technologie et sur ce nouveau progrès vers un monde totalitaire* », expliquent les occupants du centre de recherche de Valence : « *Puçage électronique obligatoire pour les animaux d'élevage (ovins et caprins à partir de juillet 2010) ; dissémination généralisée de puces et de capteurs miniaturisés dans l'environnement urbain, rural, domestique, « naturel » ; traçabilité totale de tout et de tous grâce aux mouchards électroniques implantés partout, et gestion des données, y compris personnelles, par un système centralisé et opaque ; profilage de chacun via ses données personnelles pour mieux cibler le consommateur et l'électeur avec des publicités sur-mesure* », énumèrent-ils.

Les nanotechnologies, dont les RFID, constituent un marché évalué à 1.000 milliards de dollars, selon le site « Aujourd'hui le nanomonde », soutenu par Les Amis de la terre, le Collectif Pièces et main d'œuvre et l'ONG canadienne ETC Group (Action Group on Erosion, Technology and Concentration). « *Aujourd'hui les moutons, demain les hommes* », proclament les banderoles déployées sur le pôle « traçabilité ». Ce qui s'est passé pour les OGM ou pour la massification des molécules toxiques dans les biens de consommation n'augure pas vraiment un usage raisonnable et raisonné des puces RFID.

Ex - CFE-CGC

Jacques Testard et sciences citoyennes.
Vendredi 6 janvier 2012

Le développement des nanotechnologies depuis 10 ans a été réalisé hors de toute prise en compte de l'avis de la population. Des manifestations diverses (débats publics, expositions savantes, jurys de citoyens, débats parlementaires, communications médiatiques…) ont révélé de fortes réticences mais celles-ci n'ont conduit à aucune mesure effective telle que seraient un moratoire sur les nanomatériaux et la démonstration de leur innocuité en préalable à toute dissémination. Comme dans d'autres secteurs technoscientifiques présentés comme susceptibles, et même souvent seuls capables, d'améliorer le sort de l'humanité, ce sont surtout des intérêts économiques qui imposent le développement de l'innovation. Cette situation fait courir des risques majeurs à l'intégrité de l'espèce et ne peut être résolue que par la reconnaissance du droit et de la capacité des citoyens à décider de leur avenir. Pour cela des procédures de gestion démocratique de la technoscience doivent être définies et adoptées sans réticences.

Mot(s)-clé(s) : démocratie, innovation, recherche, choix technologiques

Public(s) visé(s) : tous

Définition des concepts et notions utilisés :

• *Participation :* en démocratie la participation ne peut pas se limiter à une figuration comme quand on exprime son point de vue. Elle exige que ce point de vue résulte d'informations adéquates, ne dépende pas d'intérêts particuliers et, à ces conditions, soit pris en compte par les élus pour établir la loi commune.

• *Expertise :* depuis que la recherche a pour but annoncé de produire des innovations commercialisables, les experts (les scientifiques qui sont parmi les plus performants dans leur spécialité) dépendent de plus en plus d'intérêts économiques puisque c'est leur collaboration avec ces intérêts qui a permis leur notoriété. Aussi une expertise de qualité (honnête, objective, conforme au bien public) devrait confronter divers experts, d'avis et de compétences variés , à des citoyens dénués de conflit d'intérêt afin que ceux-ci, bien éclairés, contribuent effectivement aux choix politiques.

• *Progrès :* longtemps confondu avec le progrès de l'humanité, le progrès technique montre aujourd'hui qu'il n'œuvre pas toujours pour le bien de l'espèce et de sa planète. C'est pourquoi il peut être illusoire et dangereux de proposer la réparation par de nouveaux « progrès » des dégâts causés par des « progrès » antérieurs…Les progrès, pour être reconnus comme tels, doivent être soumis au choix des citoyens et, à chaque fois que possible, ce choix doit intervenir en amont même de la recherche.

• *Technoscience :* quand l'intrication entre la recherche et ses applications devient très étroite, c'est le projet d'innover (breveter, fabriquer, vendre) qui devient le moteur des laboratoires. La recherche est alors une activité finalisée vers l'innovation dans laquelle l'investissement pour la connaissance ne vaut qu'en ce qu'il favorise l'application.

Contexte – État des lieux : Depuis plus de 10 ans, la France, comme tous les pays industrialisés, a fait le choix technologique des « nanos ».. Comme on l'avait déjà vécu dans d 'autres secteurs de la technoscience (nucléaire, PGM…) l'avis des citoyens a été négligé au

moment des choix. Ceux-ci ont conduit à des investissements très importants et des engagements régionaux : Grenoble était annoncée comme « capitale nanos » depuis 1998 avec la création du pôle d'innovation Minatec par le CEA, et 5 centres régionaux de compétence en nanotechnologies existaient en 2005.

Pourtant, le gouvernement ne pouvait pas ignorer des questions posées par la société, souvent à partir des critiques de petites associations, à l'égard de cette technologie. Par ailleurs plusieurs rapports, dont celui de la Royal Society[i] britannique ont souligné l'insuffisance des recherches sur les risques des nanoproduits pour la santé ou l'environnement. Reconnaissant ces risques, l'Afsset demandait en octobre 2008 que le principe de précaution soit appliqué, avec l'utilisation d'équipements ad hoc comme pour les matières dangereuses, dans les industries et laboratoires fabriquant des nanomatériaux. Mais en aval de la fabrication, et alors que des produits nanos sont déjà commercialisés, il s'avère qu'aucune technique ne permet d'en assurer la traçabilité, une carence qui justifierait à elle seule que des recherches soient menées avant toute dissémination de cette technologie.

Plusieurs manifestations ont montré depuis longtemps l'inquiétude du public, dont les cahiers d'acteurs publiés lors de l'exposition en 2006 à la Cité des sciences et de l'industrie[ii] puis ceux publiés à l'occasion du débat public national[iii] de 2009. Mais la domination de quelques gros acteurs sur la recherche (publique et privée) et leur souci de compétition internationale s'accorde mal avec la prise en compte des souhaits de la population et même avec la sécurité et le bien-être des humains. Comme l'écrivait la Fondation sciences citoyennes, « devrait-on laisser une application technologique, portée par des intérêts privés qui cherchent à la faire passer pour la seule source de progrès, s'imposer au point de changer fondamentalement la vie de la société ? N'est-ce pas à la société de faire des choix réfléchis sur son évolution [...] ? »

Exposé de la problématique : Le souci annoncé de prendre en compte après coup l'avis des citoyens pose deux problèmes : Est-il éventuellement possible d'abandonner ces projets alors qu'ils sont déjà bien implantés ? Les procédures utilisées pour connaître l'avis des citoyens sont-elles pertinentes ?

Au moment même où le gouvernement organisait la « procédure participative » du débat public de 2009, il annonçait des moyens financiers doublés pour développer la recherche sur les nanos[iv] au nom de la compétitivité économique et des avantages escomptés pour l'industrie, la santé, l'agriculture, etc... Dans ce contexte, on peut douter de la volonté des acteurs « pro-nanos » à remettre en cause leur projet si les citoyens interrogés devaient s'y montrés défavorables... Et on comprend que certains acteurs locaux (élus, syndicats, PME...) résistent aux critiques qui menaceraient des intérêts déjà engagés. Ainsi, l'association entre Minatec et plusieurs groupes industriels pour les nanotechnologies des circuits intégrés (Crolles 2) inaugurée en 2003 s'avérant défaillante, la CGT écrivait le 2 février 2007 que « Ce qui se passe à Grenoble peut arriver dans tous les pôles de compétitivité dont la gouvernance est sous l'influence de grands groupes internationaux. Ceci est d'autant plus grave que la création de ces pôles va accentuer petit à petit, dans les régions, le regroupement et la spécialisation autour de quelques domaines industriels ». Cette inquiétude tardive ne remet pas en cause un développement identique qui dépendrait d'acteurs nationaux...

Mais la forme même des « procédures participatives » pose question. La plus vaste s'est déroulée en 2009 avec un « débat public » national, tel que défini dans la loi depuis 15 ans et organisé par la Commission nationale du débat public.

Du Débat public à la Conférence de citoyens : S'il autorise en théorie la participation de tous les citoyens, le débat public ne concerne en réalité qu'un faible nombre de personnes (beaucoup moins de 1 sur 10000) et ne permet pas d'évaluer l'avis de la population puisque ce sont des minorités auto-proclamées, parfois porteuses d'intérêts particuliers, qui s'y expriment, et que le poids relatif des divers avis exprimés n'est pas quantifiable. De plus, le débat public « nanos »a été torpillé par des activistes, si bien que les seules procédures participatives réalisées en France sur les nanos furent locales. Parmi celles-ci la conférence de citoyens organisée par la Région Ile de France en 2006. Cette procédure présente l'avantage de regrouper sur une période longue (plusieurs week-ends et conférence publique étalés sur plusieurs mois) des citoyens tirés au sort et dénués de conflit d'intérêt en rapport avec le sujet. Les informations qui leur sont proposées doivent être complètes et contradictoires (les différents points de vue d'experts sont exposés) et aller au delà du seul savoir scientifique pour prendre en compte les divers incidences de la technoscience sur l'espèce humaine et la planète. Pour remplir cette fonction, les conférences de citoyens (CdC) devraient répondre à un protocole strictement défini afin d'assurer l'intégrité du jury, l'objectivité et l'exhaustivité de sa formation comme sa réflexion collective et hors de toute pression jusqu'à la production autonome de l'avis.

De la Conférence à la Convention de citoyens : Un bilan mondial des conférences de citoyens depuis 20 ans montre que, malgré des avancées importantes, les procédures ne sont pas sérieusement définies. Les variantes observées à tous les stades retirent beaucoup à la crédibilité des CdC car on peut craindre que la mauvaise gouvernance d'une procédure portant sur un effectif aussi réduit de personnes (une quinzaine) conduise à des résultats sans signification. Or, la réduction de la population à un effectif aussi modeste est la condition pour assurer de bonnes conditions pratiques, limiter les conflits personnels et assurer des échanges fructueux entre ces jurés. C'est pour rompre avec cette confusion qu'un nouveau nom a été proposé pour une procédure strictement définie : la **Convention de citoyens**. Dans le projet de loi proposé par la FSC les conditions de déroulement comprennent aussi bien la diversité et la « neutralité » du jury que la qualité de l'information qui lui est proposée et le poids relatif (durée d'intervention des experts, textes fournis) donné à chaque proposition connue dans la controverse. Ceci peut être obtenu grâce à l'instauration d'un comité de pilotage comprenant les acteurs connus comme ayant des avis divergents, ce comité étant chargé d'établir, par consensus, le programme de la formation, mais sans jamais intervenir auprès du jury.

Acteur(s) impliqué(s) et nature de son (leur) implication :

• *Institutions politiques :* gouvernement, élus locaux…

• *Autorités organisées :* ministères (industrie, santé, environnement…) , laboratoires de recherche et innovation (CEA, universités,…), experts français et étrangers, professionnels produisant ou utilisant des nanomatériaux,

• *Représentants des populations :* associations, syndicats, particuliers…

• *Médias*

Enjeux :

Santé publique, qualité de l'environnement, modes de vie, économie…

Mais aussi *démocratisation des choix technoscientifiques, éthique de la connaissance* .

Un enjeu fondamental pour la démocratie est *la démonstration de la capacité de citoyens « ordinaires » à opérer des choix pertinents*, y compris dans des domaines jusqu'ici réservés aux « experts ». Cette capacité a été souvent vérifiée à l'occasion de nombreuses CdC dans le monde. Elle exige des informations complètes et contradictoires, des conditions favorables à la réflexion et l'élaboration (délais suffisants, échanges, autonomie) mais aussi le volontariat des jurés qui doivent être assurés que leurs propositions ne seront pas méprisées.

Recommandations :

Conscients de l'insuffisance démocratique pour le développement des nanotechnologies, certains préconisent « l'instauration de débats publics permanents et d'informations complètes des élus, bien en amont des décisions, pour dépasser le stade de l'acceptation par la population » (déclaration des Verts). Cette formule ne considère pas la nécessaire expression d'avis par la population éclairée, avis que les élus devraient prendre en compte. Ainsi, la décision des élus devrait dépendre de structures permanente (Haute Autorité de l'expertise) et ponctuelles (Conventions de citoyens)

En attendant de véritables décisions démocratiques, la précaution exige d'instaurer un moratoire sur la recherche appliquée et sur la commercialisation des nanoproduits.

Ex CFE-CGC

Contribution de Sciences et Démocratie au débat public national sur les nanotechnologies

By *Philippe Bourlitio*
Created *28.01.2010 - 23:07*

[1]

Dans le cadre du débat national sur les nanotechnologies qui se déroule en France du 15 octobre 2009 au 23 février 2010, les organisations sont invitées à adresser à la commission particulière en charge du débat une contribution (appelée cahier d'acteur) destinée à alimenter le débat et à éclairer les pouvoirs publics sur des "orientations en matière de développement et de régulation des nanotechnologies". Le présent texte est la contribution que Sciences et Démocratie a adressée le 28 janvier 2010. Encouragements, désaccords... merci d'avance de vos réactions.

Vous pouvez télécharger le cahier d'acteur de Sciences et Démocratie au format PDF [2] tel que diffusé par la CPDP nano.

Pour Sciences et Démocratie, association constituée de citoyens qui s'intéressent à la gestion publique des questions « science société », en particulier du point de vue des risques et de l'éthique, le cas des nanotechnologies est une source d'étonnements et, à plus d'un titre, inquiétant.

La mise en œuvre du principe de précaution

Notre premier sujet d'étonnement est *le retard pris dans la mise en œuvre de mesures proportionnées comme le demande le principe de précaution*. Des centaines de produits de consommation dopés aux nanotechnologies sont déjà sur le marché alors que des risques pour la santé humaine et l'environnement ont été suspectés très tôt et que plusieurs études sont venues renforcer ces suspicions.

Certes les propriétés nouvelles que présentent nanoparticules, nanotubes et autres nanomatériaux ont mis les institutions en difficulté dans cette gestion, rendant inopérantes par exemple les réglementations dépendant de la nomenclature des produits chimiques CAS. Mais *il nous paraît anormal que 5 années aient été nécessaires* pour simplement déterminer s'il était plus pertinent de créer une *réglementation sanitaire* spécifique aux nanotechnologies ou d'adapter celles existantes (alimentation, produits chimiques, médicaments...). Au minimum, *des mesures transitoires n'auraient-elles pas du être prises ?*

L'information des consommateurs

De plus, *l'une des premières mesures réglementaires à être adoptées (2009) nous paraît pour le moins aberrante*. Il s'agit de celle proposée *dans le domaine des cosmétiques* pour informer les consommateurs : apposer sur l'étiquette *l'indication « nano »* à côté du composant

concerné. L'intention est louable : laisser le libre choix aux consommateurs et soumettre ces produits, avec leurs atouts et leurs risques, au verdict du marché. Le principal défaut de cette disposition est pourtant évident : cette étiquette n'aura pas de signification pour la très grande majorité des gens. Ou elle aura l'effet inverse d'une mise en garde : dans certains secteurs, le préfixe nano est d'abord synonyme de high-tech et est déjà devenu un argument marketing. Cette étiquette ne rendra pas non plus compte du degré de risque (très variable d'un composant à l'autre). Il nous paraît important qu'un débat public soit mené sur ce sujet, et qu'y soit envisagé une approche plus large de *l'information des consommateurs en matière de risque*, ne se limitant pas aux nanotechnologies. Ne peut-on envisager une simplification de l'étiquetage pour les risques intrinsèques des produits, à l'image de ce qui a été accompli en matière de consommation d'énergie ? Car la multiplication des informations sur les emballages n'est pas synonyme de choix éclairés.

Le débat public national sur les nanotechnologies

Le débat national sur les nanotechnologies, commandé conjointement par 7 ministères à la Commission nationale du débat public (CNDP) en février 2009, constitue lui-même un sujet d'étonnement, sur son intervention tardive et sa conception. En tant que processus contribuant à la démocratisation des choix scientifiques et techniques, il mérite une attention particulière.

Tout d'abord, pourquoi intervient-il alors que des centaines de « nanoproduits » sont déjà sur le marché ? Présenté comme une des propositions du Grenelle de l'environnement (2007), il avait en fait déjà été promis en mai 2006 par le Premier ministre d'alors, Dominique de Villepin. Il aura donc fallu trois ans pour qu'il devienne réalité.

Et pour quels résultats ? Malgré 17 réunions, ce débat ne permet que d'esquisser les problèmes, non d'élaborer des solutions. Pouvait-on de façon réaliste espérer débattre de la question centrale de la protection des consommateurs en une heure par exemple ? C'est pourtant le temps qui lui a été accordé dans la séance d'Orléans. Les choix des organisateurs du débat sont évidemment en cause. En multipliant les thèmes et en donnant la possibilité à tout intervenant de prendre la parole sur le sujet de son choix, la CNDP réduisait fortement les chances de pouvoir discuter sérieusement du moindre sujet. Mais *la saisine du débat (c'est-à-dire la commande des 7 ministères à la CNDP) portait en elle les graines de la discorde*. Difficile en effet de débattre « d'orientations en matière de développement et de régulation des nanotechnologies » (intitulé de la saisine) sans avoir un panorama des promesses, de l'état de l'art et des incertitudes dans tous les secteurs impactés par le développement des nanotechnologies.

Au final, les informations que l'on aura pu entendre au fil des réunions publiques étaient déjà connues des ministères. Elles étaient d'ailleurs consultables dès le lancement du débat dans le « dossier du maître d'ouvrage » publié par la CNDP. Dans certains cas, ce document est même plus éclairant que les réunions du débat, à l'exemple de la controverse sur l'innocuité du dioxyde de titane dans les cosmétiques.

Quel intérêt l'organisation d'un débat national présentait-elle dans ces conditions ? De la bouche des membres de la CNDP, *il a été conçu comme une opération d'information* à destination du grand public. Une information descendante uniquement, des experts et des institutions vers le public donc. *Ce n'est pas ce qu'on attend d'un débat public*. Nous considérons qu'une telle opération aurait encore été acceptable il y a 5 ans, au moment où les premiers produits sont arrivés sur le marché.

L'opposition farouche que le débat public a rencontrée dans plusieurs villes trouve ici sa justification : marché déjà développé, financements publics déjà décidés, réglementation absente et, pour finir, débat public qui n'en est pas un.

L'association Sciences et Démocratie défend depuis 3 ans que les nanotechnologies ne peuvent constituer un sujet de débat public.
Tout d'abord, le terme « nanotechnologies » englobe une trop grande diversité de sujets. Il y a certes des questions spécifiques posées par les propriétés nouvelles découvertes à l'échelle du nanomètre : incertitudes scientifiques en termes de toxicité et d'éco-toxicité, difficultés à adapter les réglementations sanitaires... Mais beaucoup de questions sont plus anciennes et n'ont pas encore reçues les réponses appropriées, qu'il s'agisse du manque de toxicologues et d'épidémiologistes en France, des modalités d'une expertise scientifique crédible en matière de risques, de la contribution de la recherche publique à cette expertise, de l'égalité d'accès devant des traitements médicaux hyper-techniques et extrêmement coûteux, de la transparence vis-à-vis du lobbying auprès des parlementaires...
Ensuite, le terme n'a pas de sens clair pour le grand public. Il ajoute une couche de complexité au travail d'explication nécessaire pour permettre au citoyen de s'approprier le sujet, d'autant plus que sa définition fait encore l'objet de débats entre spécialistes.

Nos attentes

En regard de ce qui vient d'être développé, nous demandons :

1. que toutes les dispositions soient prises pour que le principe de précaution soit respecté, et notamment :

- un accroissement des études consacrées à l'évaluation des risques des nanomatériaux pour la santé et l'environnement ;
- la définition de procédures et de protocoles expérimentaux adaptés (trop souvent les études montrant des risques sont considérées comme biaisées du point de vue méthodologique) ;
- plus généralement, un renforcement de nos capacités nationales en matière de toxicologie et d'épidémiologie, également requises pour d'autres problématiques ;

2. que les réglementations européennes et françaises soient adaptées aux spécificités des nanomatériaux sans tarder, y compris la directive REACH, rendue obsolète par les nanoproduits (priorité donnée aux plus gros tonnages, nomenclature CAS inadaptée aux propriétés nouvelles des nano-objets) ;

3. que le débat public national sur les nanotechnologies soit prolongé par de nouveaux débats publics plus ciblés pour permettre de traiter plus en profondeur certaines questions, et notamment :

- l'information des consommateurs en matière de risques, avec la question de l'étiquetage des produits ;
- les modalités d'une expertise scientifique crédible dans l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux et la place de la recherche publique dans cette expertise (demande formulée lors du Grenelle de l'environnement) ;
- les problèmes éthiques pour lesquels la mobilisation a été importante pendant le débat public même s'ils ne sont pas directement liés aux nanotechnologies : menaces sur les

libertés individuelles du fait de la généralisation des dispositifs techniques d'identification (RFID, biométrie...), limites à poser concernant les modifications technologiques apportées au corps humain ;

4. qu'une véritable démocratie participative soit mise en place concernant les choix scientifiques et technologiques, et notamment que :

- les citoyens soient associés à la conception des processus participatifs émanant des institutions, notamment pour en délimiter le périmètre et formuler la question posée, de manière à permettre de vrais choix ;
- ils puissent être à l'origine de tels processus (droit à l'initiative citoyenne à l'échelle nationale), selon des modalités réalistes ;
- ils puissent participer plus généralement dans les instances qui décident la sortie hors des laboratoires de technologies présentant des risques ou soulevant des questions éthiques ;
- les décideurs se positionnent publiquement sur les recommandations issues des processus participatifs en expliquant leurs choix ;
- les associations engagées dans les expérimentations/réflexions sur cette « démocratie technique » depuis plusieurs années comme Sciences et Démocratie soient consultées.

Enfin, nous souhaitons attirer l'attention des organisations qui se prononcent pour un *moratoire* sur le risque que présente cette approche : de même que, de façon opportuniste, des projets de recherche ont été rebaptisés pour pouvoir accéder plus facilement à certains financements, ils seront débaptisés, tandis que les problèmes, eux, persisteront.

Conclusion

Il serait faux de croire que les oppositions qu'a rencontrées le débat public sur les nanotechnologies sont le fait de technophobes uniquement, de citoyens à qui il suffirait de donner une formation scientifique pour que tout rentre dans l'ordre. Cette conviction trop fréquemment rencontrée parmi les experts mais aussi dans des associations dédiées à la culture scientifique et technique relève d'une paresse intellectuelle (pour reprendre les termes employés par Sylvestre Huet dans Libération en parlant des militants) ou d'un manque d'empathie pour ceux que la gestion publique des questions science société inquiète. Il y a certes des « anti-science » parmi les opposants au débat mais ils ne doivent pas faire oublier les questionnements légitimes du plus grand nombre. Ce qu'il faut retenir de cette contestation, c'est que le citoyen doit être impliqué d'avantage. Les débats publics eux-mêmes doivent être conçus avec le public, du point de vue du périmètre et de la méthodologie, de manière à permettre des échanges plus constructifs. Une vraie démocratie participative doit être mise en place concernant les choix scientifiques et technologiques.

Ex CNIL

Published on *Sciences et Démocratie* (http://www.sciences-et-democratie.net)

Nanomatériaux : vers une meilleure information et protection des consommateurs européens ?

By *VeilleNanos*
Created *14.12.2011 - 02:15*

Par VeilleNanos [1] le 14 décembre 2011

2 retweet

[2]

Au mois de novembre, deux textes européens sont venus renforcer l'information et la protection des consommateurs concernant les nanomatériaux. Avec quelles retombées réelles ?

Ce texte a été publié initialement le 12 décembre 2011 sur le site VeilleNanos.fr [3].

Publication du Règlement sur l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires

Etiquetage obligatoire des nanomatériaux dans l'alimentation à partir de 2014

Le Règlement européen concernant l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires [4]1 [5], a été publié au Journal officiel de l'Union européenne [4] du 22 novembre 2011. Ce règlement du Parlement européen et du Conseil a été validé le 25 octobre 2011 après le vote du Parlement européen le 6 juillet dernier [6]. Son article 18, alinéa 3, stipule que *tous les ingrédients qui se présentent sous forme de nanomatériaux manufacturés sont indiqués clairement dans la liste des ingrédients. Le nom de l'ingrédient est suivi du mot "nano" entre crochets.*

L'industrie agro-alimenaire aura trois ans pour se conformer à ces nouvelles dispositions : *à*

partir de fin 2014, le consommateur pourra donc voir figurer la mention [nano] sur la liste des ingrédients des denrées alimentaires.

Un dispositif équivalent avait été prévu dès 2009 pour les cosmétiques : selon le Réglement Cosmétiques [7], *à partir de 2013, les fabricants devront indiquer la présence de ces nanomatériaux dans la liste des ingrédients des cosmétiques.* Une règle d'étiquetage prévoit que soit indiqué, dans le cas du TiO2 : Titanium dioxyde [nano].

Quel sens donner à l'étiquetage [nano] ?

Cet étiquetage obligatoire des denrées alimentaires et des cosmétiques constituera une avancée incontestable par rapport à l'existant, puisqu'aujourd'hui le consommateur ne dispose d'aucune informations. Il soulève cependant des questions pratiques et politiques importantes.

Dès 2009, l'Institut national de la consommation (INC) [8], de même que le monde industriel, considérait l'étiquetage nano comme *un signe d'alerte trop "anxiogène"* et redoutait que l'étiquetage suscite un sentiment de méfiance "irrationnel" de la part des consommateurs. En 2010, l'association Sciences et Démocratie [9] a appelé à une vigilance sur cette question, rappelant qu'une *étiquette n'aura pas de signification pour la très grande majorité des gens ; ou elle aura l'effet inverse d'une mise en garde : dans certains secteurs, le préfixe nano est d'abord synonyme de high-tech et est déjà devenu un argument marketing.*

Dans tous les cas, *l'étiquetage nano fournit une information... qui, aussi paradoxal que cela puisse paraître, n'en est pas vraiment une : la mention [nano] n'indique pas sous quelle forme et en quelle quantité le nanomatériau indiqué est présent dans le produit concerné, ni les risques pour le consommateur*, contrairement à ce que demandait dès 2009 France Nature Environnement [10] notamment. Jugeant quant à elle que le caractère ésotérique de telles informations ne les rendrait pas pertinentes pour le grand public, l'association Sciences et Démocratie [9] propose *une simplification de l'étiquetage pour les risques intrinsèques des produits, à l'image de ce qui a été accompli en matière de consommation d'énergie* et ne se limitant pas aux nanotechnologies.

Un consensus se dégage toutefois pour considérer que l'étiquetage doit être en tous les cas accompagné d'actions complémentaires en termes de traçabilité, de tests de toxicité, voire de limitation ou interdiction dans le cas de certains types de nanomatériaux.

Vote d'une Résolution sur la nouvelle stratégie pour la politique des consommateurs

Le Parlement appelle la Commission à mieux étudier les nanotechnologies

Outre l'information des consommateurs, leur protection vis-à-vis des risques posés par les nanomatériaux et nanotechnologies est donc un enjeu de taille, ainsi que les députés européens viennent de le rappeler à la Commission. Le 15 novembre dernier, le Parlement européen a en effet adopté une *Résolution sur la nouvelle stratégie pour la politique des consommateurs* [11], dans laquelle il *souligne la nécessité d'accroître d'urgence le niveau général de protection des consommateurs au sein de l'Union, notamment dans le cadre du*

prochain réexamen de la directive relative à la sécurité générale des produits et *appelle la Commission, en collaboration avec les agences européennes, à étudier plus attentivement les effets des produits chimiques sur la santé des consommateurs, la résistance aux antibiotiques et les nanotechnologies, sur la base de la législation de l'Union en vigueur dans ces domaines* (art. 32).

Quelles conséquences ?

Cette résolution, contrairement au Règlement concernant l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires ou au Réglement Cosmétiques cités précédemment, n'est pas contraignante. Elle envoie néanmoins *un signal fort à la Commission pour que cette dernière prenne au sérieux la protection des consommateurs vis-à-vis, entre autres, des nanomatériaux et nanotechnologies*. Et ce d'autant plus que l'ensemble du texte a été soutenu par tous les groupes politiques et voté à une grande majorité en plénière ; quant au paragraphe relatif aux nanotechnologies, il n'a posé aucun problème - et soulevé aucun débat - ni en commission et ni en plénière.

Interrogée par Avicenn, Sylvia Maurer, du Bureau européen des unions de consommateurs [12] (BEUC), a indiqué que le BEUC avait *accueilli très favorablement cette pression exercée par les eurodéputés auprès de la Commission à l'heure où de plus en plus de produits contenant des nanomatériaux sont commercialisés, sans que la législation existante permette d'assurer la protection des consommateurs.*

L'article de la résolution concernant les nanotechnologies est néanmoins très succinct et général. Reste à voir comment la Commission se l'appropriera, le déclinera et l'articulera avec les différents chantiers nano en cours. Concernant le volet alimentation, la révision du Règlement de 1997 relatif aux Nouveaux aliments et aux nouveaux ingrédients alimentaires (plus connu sous le nom de Règlement NovelFood) est toujours attendue2 [13] ; et l'adaptation du règlement Reach aux nanomatériaux est en cours de discussions3 [14].

Sur le même sujet

- Faut-il une étiquette « nano » pour protéger les consommateurs ? [15], Sciences et Démocratie, 2009-2011
- Complexities of labelling of nano-products on the consumer markets [16], Throne-Holst, H. and Rip, Arie, *European Journal of Law and Technology*, Vol. 3, No.1, 2012

---

1. Règlement (UE) n° 1169/2011 du Parlement européen et du Conseil du 25 octobre 2011 concernant l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires [4], 22 novembre 2011.
2. Voir pour rappel notre article "Les nanos dans l'alimentation devraient bientôt revenir au menu de l'agenda politique européen" [17], VeilleNanos, mai 2011.
3. Voir notamment notre article "EUROPE : Le chantier-phare du moment : Quel traitement des nanomatériaux dans le cadre de REACH ?" p.4 de la Lettre VeilleNanos n°2 [18] de novembre 2011.

‹ précédent [19] 76 of 77 suivant › [20]
Les nanotechnologies consommateurs Europe nanomatériaux nanotechnologies réglementation

Ex-INRS

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE DES FINANCES ET DE L'INDUSTRIE

Le portail de l'Économie, des Finances et de l'Industrie

Afficher le menu du portail

Accueil › CEDEF › Dossier documentaire - Les nanotechnologies

CEDEF | CENTRE DE DOCUMENTATION ECONOMIE-FINANCES

Accueil Prestations documentaires Questions Réponses

Ressources en ligne Veilles thématiques

Dossier documentaire - Les nanotechnologies

Ces dossiers documentaires ne doivent pas être confondus avec des positions officielles de l'administration.

Les nanotechnologies recouvrent l'ensemble des techniques, outils et procédés qui permettent de manipuler la matière à une échelle en dessous de la centaine de nanomètres (1 nanomètre = 1 milliardième de mètre), d'élaborer de nouveaux matériaux et composants toujours plus petits, de construire atome par atome de nouvelles molécules et d'exploiter leurs propriétés en vue de nouvelles applications. L'impact des nanotechnologies sur l'économie est très prometteur, car les applications industrielles seront nombreuses et concerneront des domaines très variés. Les nanotechnologies devraient constituer dans les prochaines années un marché considérable. À l'horizon 2015, 15% de l'activité manufacturière mondiale serait concernée par des dispositifs ou des matériaux utilisant des avancées issues des nanotechnologies. En 2008, le montant du marché mondial est estimé à 500 milliards de dollars et pourrait doubler en 2015, selon la National science foundation. Le développement des nanotechnologies pourrait générer l'emploi direct de plus de 2 millions de personnes. Toutefois, elles suscitent également des inquiétudes. Manipuler la matière à l'échelle moléculaire et interférer avec le monde du vivant soulève des questions éthiques et sanitaires qui devront être prises en considération par les pouvoirs publics et les acteurs concernés.

La fabrication des nanostructures et les domaines d'application

Pour fabriquer des nanocomposants, deux voies sont possibles : la voie descendante et la voie ascendante. La voie descendante consiste à réduire le plus possible la taille d'un matériau, d'un composant. C'est la voie suivie par la microélectronique depuis 30 ans. Toujours activement exploitée, elle se heurte de plus en plus à des limites techniques et économiques en descendant vers l'échelle nanométrique. La voie ascendante consiste, quant à elle, à assembler la matière, atome par atome, pour construire des molécules que l'on intègre ensuite dans des systèmes plus grands, afin d'obtenir les propriétés ou les fonctions désirées.

Aujourd'hui, certains microcomposants et microsystèmes voient progressivement leurs dimensions diminuer et se rapprocher de l'échelle du nanomètre suivant la voie descendante, devenant ainsi des nanocomposants et des nanosystèmes. Parallèlement, les scientifiques réfléchissent à la mise au point de nouvelles méthodes d'assemblage atome par atome, molécule par molécule, qui ouvrent la voie à la démarche ascendante : ces méthodes, inspirées du monde de la chimie et de la biologie, consistent à construire des nanosystèmes à partir des éléments de base que sont les atomes. Cette démarche nécessite l'invention d'instruments d'observation et de fabrication adaptés, mais aussi de comprendre comment fonctionnent des systèmes aussi petits. En effet, les objets nanométriques possèdent souvent des propriétés chimiques, électriques, magnétiques différentes de celles des objets, de même composition, mais de taille macro ou microscopiques (comme la flexibilité, la résistance, l'adhésion ou la répulsion), et très recherchées par les industriels. Les lois de la physique classique ne permettent pas d'expliquer leur comportement et l'on doit alors faire appel aux lois de la physique quantique pour comprendre et identifier ces nouvelles propriétés.

Les nanotechnologies se décomposent en trois secteurs principaux :
> La nanoélectronique, qui s'inscrit dans le prolongement de la microélectronique, plus particulièrement pour les ordinateurs, mais à des échelles nettement plus petites.
> La nanobiotechnologie, qui combine l'ingénierie nanométrique et la biologie pour manipuler des organismes vivants ou construire des matériaux inspirés des systèmes moléculaires biologiques.
> Les nanomatériaux, qui supposent de contrôler précisément, aux dimensions nanométriques, la morphologie de substances ou particules en vue de construire des matériaux nanostructurés. Les nanomatériaux constituent les "briques de base" des produits manufacturés et l'ensemble des secteurs économiques bénéficient de leur mise au point et de leur inclusion dans les processus de fabrication. Ils peuvent se définir comme des matériaux composés ou constitués de nano-objets qui confèrent à ces matériaux des propriétés améliorées ou spécifiques de la dimension nanométrique. Ils se présentent sous forme de particules libres ou fixées, de fibres ou de tubes, de cristaux ou de lamelles, ou encore de porosités et connaissent un développement industriel remarquable dans le domaine des nanotubes de carbone.

Les domaines d'application des nanotechnologies sont principalement les technologies de l'information (possibilités de stockage accrues des nanomatériaux), la santé (implants bioactifs, nouveaux outils de diagnostic médical, traitement ciblé de cellules malades...), les écotechnologies (détection et neutralisation de micro-organismes et de pesticides par exemple), les technologies de l'énergie (économies d'énergie améliorées dans le transport). Le principal défi à relever pour l'avenir est d'étendre les méthodes de nanofabrication à la grande production de l'industrie.

À ce jour, les nanotechnologies et nanomatériaux ne constituent ni un secteur ni une branche au sens de la comptabilité nationale. Ils échappent aux statistiques du commerce extérieur, et ne sont représentés dans aucune nomenclature d'activité et de produit française, européenne, ou internationale.

Le positionnement de la France dans le domaine des nanotechnologies

L'effort financier de la France dans le domaine des nanotechnologies place le pays au 2ème rang européen derrière l'Allemagne. La France se classe au 5ème rang mondial en terme de nombre de publications dans le domaine des nanosciences. Les États-Unis sont actuellement leader en matière d'investissement dans ce domaine, ainsi qu'en terme de production scientifique et de valorisation de la recherche. Entre 2001 et 2005, plus d'un milliard d'euros de fonds publics ont été investis en France pour développer la recherche dans le secteur des nanosciences et des nanotechnologies. Pour l'année 2007, l'effort public est de l'ordre de 280 millions d'euros. Un quart du budget relève du ministère en charge de la recherche, un quart du CEA et un tiers du CNRS. Les 20% restants relèvent principalement du ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi, et pour moins de 5% de l'Inserm et d'Oséo-Anvar.

Le 1er avril 2009, le ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi a annoncé que l'ensemble des partenaires du programme de recherche et développement Nano2012 avaient signé la convention cadre précisant les objectifs de ce programme, ainsi que les engagements réciproques de chacun des partenaires. Le programme représente des dépenses de R&D de 2,3 milliards d'euros sur une durée de cinq ans. Il est soutenu par l'État et les collectivités territoriales à hauteur de 457 millions d'euros, dont 340 millions d'euros pour STMicroelectronics, chef de file du projet. L'aide publique, autorisée par la Commission européenne le 28 janvier 2009, bénéficiera également au Laboratoire d'électronique et de technologies de l'information du Commissariat à l'Energie atomique (CEA-LETI), ainsi qu'à de nombreux autres organismes de recherche et acteurs industriels. Au-delà de l'avance technologique que ce programme doit générer pour l'ensemble de la filière de la nanoélectronique, au cœur du pôle de compétitivité "Minalogic", il doit induire des retombées économiques importantes, notamment par la création d'emplois directs supplémentaires chez les partenaires et d'emplois indirects dans l'ensemble du tissu économique régional.

Le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, a présenté le 6 mai 2009 Nano-INNOV, le Plan "Nanotechs", visant à mettre en place une stratégie d'innovation dans les nanotechnologies. Ce plan repose notamment sur la création de centres d'intégration des nanotechnologies à Grenoble, Saclay et Toulouse, où la recherche fondamentale travaillera avec les entreprises pour mettre au point des technologies, déposer des brevets, créer des produits. Dès 2009 et dans le cadre du plan de relance, 70 millions d'euros seront consacrés à ce plan. Ils seront répartis comme suit :

> 46 millions pour la construction d'un centre d'intégration sur le site de Saclay sous la maîtrise d'ouvrage du CEA. Cette construction sera accélérée du fait de la réutilisation du concept et de l'architecture du bâtiment "Digiteo labs" pour les nouveaux bâtiments. Les travaux commenceront avant la fin de l'année 2009 ;
> 7 millions pour des financements complémentaires d'équipements technologiques dans le cadre du programme RTB (réseau technologique de base), confié à l'Agence nationale de la recherche ;

> 17 millions pour des appels à projets technologiques ajoutés à la programmation 2009 de l'Agence nationale de la recherche.

Parallèlement à cet effort financier, les pouvoirs publics ont impulsé la mise en oeuvre de structures de recherche adéquates.
En 1999, le Réseau de recherche en Micro et NanoTechnologies (RMNT) est créé afin de financer des projets de recherche menés en partenariat entre des laboratoires académiques et des entreprises dans les domaines des micro et nanotechnologies.
En 2003, le Réseau national de grandes centrales de technologies pour la Recherche technologique de base (RTB) est mis en place. Son objectif est de permettre à la recherche publique française de faire face aux enjeux des micro-nanotechnologies et nanosciences pour les années à venir en disposant d'une infrastructure propre à fournir les technologies nécessaires à la réalisation des projets de recherche et de développement des laboratoires. Actuellement au nombre de sept, ces grandes centrales constituent un premier cercle d'acteurs compétitifs au niveau mondial. Il s'agit de plateformes technologiques (salles blanches, équipements, instrumentation et autres moyens lourds) qui associent recherche fondamentale et appliquée en partenariat avec le CNRS, le CEA et les universités.
En 2005, le Réseau national de recherche en nanosciences et nanotechnologies (R3N) succède au RMNT. Il associe les laboratoires publics, les PME innovantes et les centres de recherche privés des grandes entreprises. L'ANR, l'Agence nationale pour la recherche, est créée. Elle soutient plusieurs programmes dans le domaine des nanosciences et des nanotechnologies, notamment le Pnano, programme national en nanosciences et nanotechnologies. Le Pnano subventionne des projets de recherche fondamentale et appliquée (nanocomposants, micro-nanosystèmes, nanobiotechnologies, nanomatériaux, instrumentation et métrologie, modélisation et simulation). Un volet est dédié à l'impact et aux risques des nanotechnologies pour la santé et l'environnement, ainsi qu'aux aspects éthiques et sociétaux.
En 2005, la France lance également les "pôles de compétitivité" afin de faciliter le transfert technologique. Parmi ceux-ci, Minalogic à Grenoble est le pôle de référence dans le secteur des nanotechnologies. Il constitue un espace majeur d'innovation et de compétences spécialisées dans la création, la mise au point et la production de biens et services autour de solutions miniaturisées intelligentes pour l'industrie. Le pôle dispose de l'une des plus fortes concentrations de scientifiques et d'entreprises au monde et les résultats de son activité intéressent tous les secteurs industriels : de l'automatisation des processus industriels à l'électronique de grande consommation en passant par les systèmes d'optimisation de la consommation d'énergie, la chaîne de l'image ou le monde de la connectivité et de la mobilité. Il associe des grands groupes et des PME, centres de recherche et de formation, État et collectivités territoriales.
Enfin en 2007, trois Réseaux thématiques de recherche avancée (RTRA) sont créés dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies. Il s'agit de fondations de coopération scientifique qui rassemblent des laboratoires au niveau territorial. Le Triangle de la physique à Orsay est l'un de ces trois RTRA, son infrastructure bénéficie de très grands instruments de recherche comme l'accélérateur de particules "synchrotron Soleil".

Au niveau européen, le 7 juin 2005, la Commission a adopté un plan d'action pour l'Europe définissant des mesures pour la mise en oeuvre immédiate d'une stratégie de nanosciences et nanotechnologies "sûre, intégrée et responsable" sur la période 2005-2009. Le 7ème PCRD, Programme cadre de recherche et de développement, portant sur la période 2007-2013, fixe comme objectif concernant les nanosciences et les nanotechnologies d'améliorer la compétitivité de l'industrie européenne mais également d'assurer la transition d'une industrie de ressources vers une industrie de connaissances. En termes d'activités, la priorité est donnée à l'élaboration interdisciplinaire de nouveaux produits et matériaux mais également de nouveaux procédés et techniques. Le budget alloué à ce secteur s'élève à près de 3,5 milliards d'euros. La France se situe au second rang en terme de subventions obtenues de la Commission européenne et devrait bénéficier en moyenne de 10% de la dotation globale, soit environ 50 millions d'euros par an, ce qui équivaut au budget de l'ANR dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies.

L'effort public en recherche et développement dans le domaine des nanotechnologies est conséquent en France et en Europe. On note cependant que, dans les pays leaders (États-Unis, Japon), l'investissement public se double d'un soutien privé également très important. À titre d'exemple, en 2004, la part de l'investissement privé dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies s'élevait à 1,7 milliard d'euros pour les États-Unis contre 580 millions d'euros pour l'Europe. À l'inverse, la part de l'investissement public s'élevait à plus d'1,2 milliard d'euros pour les États-Unis, et à près d'1,4 milliard d'euros pour l'Europe.

La France et l'Europe apparaissent globalement bien placées dans le domaine de la production scientifique sur le thème des nanotechnologies mais rencontrent des difficultés dans la capacité à convertir leurs travaux en produits et en valeur (conversion des connaissances en dépôts de brevets et en création d'entreprises innovantes). Les 2/3 des brevets dans ce secteur sont détenus par l'Asie (Chine, Japon et Corée du sud), distançant nettement les États-Unis et l'Europe. L'Allemagne totalise les 2/3 des brevets européens devant la France et le Royaume-Uni. Les déposants sont principalement des industriels à hauteur de 70% et plus particulièrement des entreprises multinationales.

Un développement qui suscite des interrogations

L'émergence des nanotechnologies suscite de nombreuses interrogations concernant les aspects sanitaires et éthiques, la gestion des risques industriels ou encore le principe de précaution.

Aujourd'hui, au niveau mondial, on trouve des nanoparticules dans plus de 550 produits de consommation courante, sans étiquetage particulier : crèmes solaires, cosmétiques, produits d'entretien, farts de skis, textiles, carburants, peintures, pneus, encre pour imprimantes et même certains aliments. Les substances les plus couramment utilisées sont l'oxyde de titane et l'oxyde de silice pour les crèmes corporelles ou encore la silice colloïdale dans la composition du chocolat en poudre pour éviter la formation de grumeaux.

Ces dernières années, les pouvoirs publics ont saisi à plusieurs reprises les organismes compétents afin d'établir un état des lieux sur la situation actuelle en matière d'évaluation des risques et de recommandations à formuler.
Ainsi, le CPP, Comité de la prévention et de la précaution, a été chargé en 2004 d'examiner les conséquences sanitaires éventuelles de la production et de la dissémination de nanoparticules manufacturées et d'identifier les moyens existants pour organiser la vigilance collective et appréhender les risques. Il ressort de son analyse que les nanoparticules, du fait de leur petite taille, peuvent entraîner une réaction biologique et présentent un danger pour l'homme si celui-ci y est exposé par inhalation, ingestion ou passage transcutané. Le CPP recommande notamment de recenser les nanoparticules issues des nanotechnologies, ainsi que les filières de production, de développer des outils métrologiques adaptés aux caractéristiques des nanoparticules pour mesurer le niveau d'exposition en environnement professionnel, de mener des travaux afin de mieux évaluer les risques et les dangers chez l'homme et pour l'écosystème, d'adopter des mesures de précaution.
L'Afsset, Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, a été saisie en 2006 afin de réaliser une synthèse des connaissances scientifiques et techniques disponibles concernant les caractéristiques toxicologiques et les effets biologiques et sanitaires des nanomatériaux. Elle est également en charge de l'identification des domaines d'utilisation des nanomatériaux, du recueil des données relatives à l'exposition de la population et des travailleurs, et de l'impact sanitaire.
L'Afsset considère que des dangers potentiels pour l'homme et l'environnement liés à l'exposition aux nanomatériaux manufacturés ont été indentifiés. L'exposition peut avoir lieu par voie cutanée, par ingestion ou plus fréquemment, par inhalation. Les dangers identifiés reposent sur : la toxicité des nanomatériaux (effets notamment pulmonaires, cutanés, oculaires, vasculaires, digestifs...), le danger d'explosion, et sur les données actuellement disponibles en matière d'écotoxicité. L'Afsset formule plusieurs recommandations, notamment, la surveillance des nanomatériaux par une structure indépendante, la prise en compte de leur spécificité par l'Union européenne dans le cadre de la réglementation REACH, l'élaboration d'un registre international, publiquement accessible, des nanomatériaux commercialisés ou en voie de l'être et des produits susceptibles d'en contenir. Elle recommande également la mise en oeuvre de bonnes pratiques à appliquer sur les sites de production, notamment l'application des règles générales de prévention du risque chimique et professionnel définies par le Code du travail.

Au niveau mondial, en 2005, si 10 milliards de dollars ont été consacrés à la recherche et au développement dans le domaine des nanosciences et des nanotechnologies, seulement 40 millions de dollars l'ont été à des fins de recherche sur les effets secondaires éventuels. En d'autres termes, 0,4% seulement des dépenses au niveau mondial ont été consacrées à la recherche sur les risques. Par ailleurs, une évaluation de 2006 effectuée par le PEN "Project on Emerging Nanotechnologies" indique que l'Europe investit près de deux fois plus que les États-Unis dans la recherche pour la prévention des risques.

Comme toute avancée scientifique et technologique majeure, les nanotechnologies sont porteuses d'espoirs et d'inquiétudes. Le Conseil économique et social, dans un avis de juillet 2008, insiste sur la nécessité pour les acteurs concernés d'apporter des réponses scientifiques aux craintes qui s'expriment dans le débat public, d'appliquer le principe de précaution et de développer l'information du public, pour permettre un développement "raisonné et responsable" de cette "nouvelle vague technologique prometteuse".

Le 23 février 2009, en application des engagements du Grenelle de l'environnement, les ministères concernés par les nanotechnologies ont saisi la Commission nationale du débat public pour conduire un débat national "large et transparent" sur les risques et les conditions de développement et de régulation des nanotechnologies. Le débat doit permettre, à partir d'une analyse bénéfices/risques des différentes applications, d'éclairer les grandes orientations de l'action de l'État. La Commission remettra son rapport au Gouvernement au terme de la période du débat, fin 2009.

Réalisé en octobre 2008 - Modifié le 12 janvier 2012

Ressources bibliographiques

Nanotechnologies : surtout des PME fortement investies dans la R & D, Lise Dervieux, Raymond Heitzmann, Antoine Houlou Garcia, Le 4 Pages de la DGCIS, n°16, décembre 2011.

Pour un développement responsable des nanotechnologies, Centre d'analyse stratégique, Note d'analyse n°248, novembre 2011.

Les nanomatériaux : évaluation des risques liés aux nanomatériaux pour la population générale et pour l'environnement. Afsset, Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, mars 2010.

Réunion du comité de l'énergie atomique. Communiqué du ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi, 7 mai 2009.

Nano-Innov : un plan en faveur des nanotechnologies. Communiqué du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 6 mai 2009.

Signature de la convention cadre du programme de recherche et développement Nano2012. Communiqué du ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi, 1 avril 2009.

Nanotechnologies et nanoparticules dans l'alimentation humaine et animale. Afssa, Agence française de sécurité sanitaire des aliments, mars 2009.

ingénierie sécurité pour les nanomatériaux : rapport final d'étude. Direction générale des entreprises, septembre 2008.

Les nanomatériaux : sécurité au travail. Éric Gaffet, Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, juillet 2008.

Les nanotechnologies. Alain Obadia, Conseil économique et social, juillet 2008.

Rapport sur l'évolution du secteur de la micro/nanoélectronique. Claude Saunier, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, juin 2008.

Nanomatériaux : positionnement des compétences françaises : rapport de synthèse. Développement & Conseil, pour le compte de la direction générale des Entreprises, novembre 2007.

Questions éthiques posées par les nanosciences, les nanotechnologies et la santé : avis n°96. Comite consultatif national d'éthique, mars 2007.

Les nanotechnologies : risques potentiels, enjeux éthiques. Comptes rendu de l'audition publique du 7 novembre 2006. Claude Birraux, Henri Revol, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 2007.

Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement. Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, juillet 2006.

Nanotechnologies, nanoparticules : quels dangers, quels risques ? Comité de la prévention et de la précaution ; Ministère de l'Écologie et du Développement durable, mai 2006.

Nanotechnologies : le vertige de l'infiniment petit. Dorothée Benoit-Browaeys, le Monde diplomatique, mars 2006.

Nanosciences et nanotechnologies : une réflexion prospective. Mission scientifique technique et pédagogique du ministère délégué à la Recherche, mai 2005.

À la découverte du nanomonde. Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche 2005.

Les nanotechnologies : éthique et prospective industrielle. Jean-Pierre Dupuy, Françoise Roure, Conseil général des mines, 2004.

Vers une stratégie européenne en faveur des nanotechnologies. Commission des Communautés européennes, communication de mai 2004.

Le financement des nanotechnologies et des nanosciences, l'effort des pouvoirs publics en France : comparaisons internationales. Alain Billon, Jean-Loup Dupont, Gérard Ghys. Inspection générale de l'administration de l'éducation nationale et de la recherche, janvier 2004.

Étude prospective sur les nanomatériaux : synthèse. Développement & Conseil, pour le compte de la DIGITIP, mai 2004.

L'évolution du secteur des semi-conducteurs et ses liens avec les micro et nano-technologies. Actes du colloque organisé le 23 janvier 2003. Claude Saunier, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.

Sites internet utiles

Débat public nanotechnologies - je m'exprime, je m'informe : les objectifs de ce débat sont d'informer la population sur les principales controverses que soulève le sujet et de comprendre les positions des acteurs en présence. Il s'agit également de permettre à la population de s'exprimer sur les nanotechnologies et d'éclairer les grandes orientations de l'action de l'État.

Le site industrie.gouv consacre une rubrique aux nanotechnologies : définition, présentation du secteur, enjeux industriels, initiatives publiques, actualités.

Questions - Réponses sur les nanotechnologies. Ministère du développement durable.

L'Observatoire des micro et nanotechnologies (OMNT), présente sur son site ses travaux, les ouvrages qu'il édite, son actualité etc.

Depuis 2004, une base de données des acteurs des nanomatériaux en France permet aux professionnels des nanomatériaux d'identifier des partenaires potentiels. Elle recense des acteurs de la recherche, des centres de formation, des industriels, des organismes de soutien publics et privés.

Le site du RTB, Réseau de grandes centrales pour la recherche technologique de base, présente son programme scientifique et ses objectifs en nanotechnologies, ainsi que son organisation autour des nanosciences.

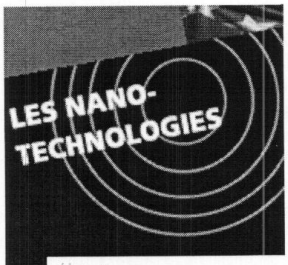
Le portail de l'Union européenne europa consacre une rubrique aux nanotechnologies "un monde minuscule au potentiel énorme".

Le site du CNRS, Centre national de la recherche scientifique, propose un dossier intitulé "Nanotechnologies et santé".

L'INRS, Institut national de recherche et de sécurité, publie sur son site un dossier web consacré aux nanomatériaux (rubrique "se documenter").

Le site de la Cité des sciences propose une retranscription des débats qui se sont tenus autour de l'Expo Nano organisée en 2007.

Ex INRS



Home
Contexte
Des compétences nouvelles
Priorités
Champs d'application
Nanorévolution
Pour plus d'informations

Autres projets thématiques

Champs d'application

Champs d'application actuels

Les nanotechnologies ont d'ores et déjà un impact sur des produits aussi divers que les nouveaux aliments, les instruments médicaux, les revêtements chimiques, les kits personnels de test médical, les capteurs des systèmes de sécurité, les unités de recyclage de l'eau pour les vols spatiaux habités, les consoles de jeux vidéo et les écrans de cinéma à haute résolution.

Contribuer à la société de l'information

Le marché mondial de la nanoélectronique représente des centaines de milliards d'euros et cette industrie est la force vive qui anime aujourd'hui le développement des nanotechnologies. La nanoélectronique permettra de créer des ordinateurs et des transistors beaucoup plus puissants, utilisables en téléphonie, dans les voitures, les appareils électroménagers et la multitude d'autres applications industrielles ou grand public actuellement contrôlées par des microprocesseurs.

Nanoélectronique
Calculer avec une molécule

Les futurs systèmes de traitement de l'information pourraient bien nécessiter un changement de paradigme dans la façon dont les calculs sont effectués. A l'opposé de la tendance actuelle qui se demande « comment imiter des transistors avec des molécules », le mot d'ordre du projet **BUN** est « comment exploiter les propriétés intrinsèques des molécules pour faire des calculs ». Les chercheurs fabriquent et étudient des molécules de synthèse en vue de les utiliser dans l'avenir comme calculateurs monomoléculaires.

Améliorer la santé humaine

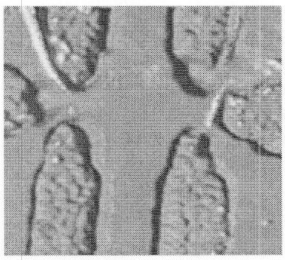
Ces systèmes combinés fourniront des biocapteurs, des biomatériaux et de nouvelles générations de biopuces pour traiter des maladies graves, notamment le cancer et les pathologies cardiaques. Ces systèmes produits par l'ingénierie biologique, sous forme d'implants, permettront d'administrer des médicaments intelligents ou d'introduire de nouvelles cellules pour réparer les tissus endommagés.

L'exemple de la nature

Les procédés de fabrication des composants nanoélectroniques pour les microprocesseurs doivent être fiables et rentables. Le projet **BIOAND** aidera les chercheurs à mieux comprendre cette technologie et à développer les outils nécessaires pour produire des composants électroniques moléculaires par autoassemblage – un

concept observé couramment dans la nature, mais très rarement utilisé en ingénierie.

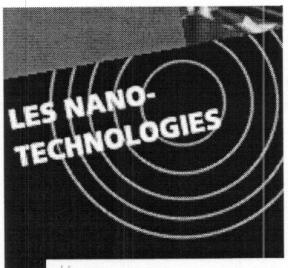
Développer des matériaux intelligents



La fabrication de nanostructures produira des matériaux aux propriétés nouvelles ou perfectionnées qui serviront à fabriquer des panneaux solaires, des revêtements anticorrosion, des outils plus durs et plus résistants, des purificateurs d'air photocatalytiques, des instruments médicaux plus durables, des catalyseurs chimiques et des composants pour l'industrie des transports. En outre, de nouveaux matériaux seront disponibles pour des produits et des applications optiques, électroniques ou encore pour le stockage d'énergie.

Top

1 2 3 4 5 6



Home
Contexte
Des compétences nouvelles
Priorités
Champs d'application
Nanorévolution
Pour plus d'informations

Autres projets thématiques

Contexte

Petit, mais costaud

Le préfixe nano- signifie « un milliardième ». En pratique il indique une petitesse extrême. A tel point, d'ailleurs, qu'une nanostructure doit être agrandie plus de dix millions de fois avant que nous puissions apprécier aisément ses détails minutieux à l'œil nu. Les nanotechnologies désignent des disciplines où la matière est manipulée à l'échelle atomique et moléculaire pour créer de nouveaux matériaux et procédés. Ce n'est pas simplement l'étude de l'infiniment petit, c'est l'application pratique de ces connaissances.
Il y a deux chemins qui mènent au nanomonde : la fabrication moléculaire, qui passe par la manipulation d'atomes individuels (construction à partir de la base), et l'ultraminiaturisation, qui produit des systèmes de plus en plus petits (travail à partir du sommet).

Le nanomonde :

On distingue trois secteurs principaux :

La nanoélectronique
Elle s'inscrit dans le prolongement de la microélectronique, plus particulièrement pour les ordinateurs, mais à des échelles nettement plus petites.

La nanobiotechnologie
Elle combine l'ingénierie nanométrique et la biologie pour manipuler des organismes vivants ou construire des matériaux inspirés des systèmes moléculaires biologiques.

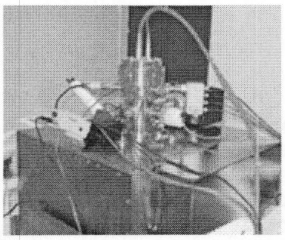
Les nanomatériaux
Il s'agit de contrôler précisément, aux dimensions nanométriques, la morphologie de substances ou particules en vue de construire des matériaux nanostructurés. Dans tous ces domaines de recherche, qui se recouvrent partiellement, on retrouve les mêmes outils utilisés pour mesurer et manipuler des structures ultrapetites, les microscopes à résolution nanométrique.

Des mondes nouveaux qui offrent de nouvelles opportunités

Les changements des propriétés moléculaires d'un matériau à l'échelle nanométrique peuvent modifier considérablement ses propriétés physiques et chimiques en grandeur nature. Nous ne comprenons pas encore complètement tous les détails qui entrent en jeu ici. Le prochain défi à relever est d'étendre progressivement les méthodes de nanofabrication à la grande production de l'industrie : la recherche fondamentale est appelée à jouer un rôle essentiel pour exploiter pleinement le potentiel des nanotechnologogies.

Travaux en cours

Colonne à faisceau ionique focalisé.



Dans le cinquième programme-cadre de la Commission européenne pour la recherche et développement technologique (RDT), l'essentiel du financement pour les nanotechnologies était destiné aux programmes :

- Qualité de la vie et gestion des ressources du vivant;
- Société de l'information conviviale (IST); et
- Croissance compétitive et durable.

Deux projets menés au titre de chacun de ces programmes sont présentés ici pour illustrer l'étendue et la portée de la recherche nanotechnologique dans l'Union européenne.

Top

1 2 3 4 5 6

Ex - ANM

Choisissez

Politique et enjeux

Nanotechnologies - Présentation du secteur

Considérées comme **l'un des moteurs de la prochaine révolution industrielle**, les nanotechnologies présentent un potentiel de développements et d'applications considérables, notamment dans les domaines des **biotechnologies, des matériaux, et des technologies de l'information et de la communication**.

" *Les **nano-sciences** se réfèrent à l'étude des phénomènes observés dans des structures, systèmes-objets dont la taille est de quelques nano-mètres (un nano-mètre est égal à 10^{-9} m) et dont les propriétés physiques, chimiques, voire biologiques découlent spécifiquement de cette taille nano-métrique* ".

Les nanotechnologies traitent aussi bien de la manipulation des atomes et molécules (dont la dimension typique est le nanomètre), de la miniaturisation des structures et de l'exploitation des nouvelles propriétés, phénomènes et procédés spécifiques à l'échelle nanométrique. Elles ouvrent des voies tout à fait nouvelles et leur développement nécessite souvent des compétences pluridisciplinaires.

Déjà utilisées dans plusieurs secteurs industriels – construction, électronique, transport, pharmacie et cosmétique – ces technologies représenteront **un marché mondial de l'ordre de 1 000 milliards d'euros en 2010**. De nombreux pays (Etats-Unis, Europe, Japon, Corée), conscients de ce potentiel, soutiennent massivement et durablement leur développement. Depuis quelques années, les pays émergents (Chine, Inde) s'inscrivent comme acteurs de rang 1 dans ce marché et tirent les prix vers le bas.

Considérées comme les **outils de base de l'innovation de demain**, leurs applications ont d'ores et déjà des incidences dans la vie de chacun et devraient contribuer au maintien ou à la croissance de l'activité dans la plupart des secteurs manufacturiers.

Des moyens de communication universels et toujours plus rapides, des médicaments efficaces et ciblés, des matériaux économes et performants, verront le jour. Des solutions aux problèmes majeurs que présentent la gestion des ressources naturelles et les défis environnementaux sont parmi les retombées attendues les plus prometteuses.

Les nanotechnologies en France s'appuient sur l'expérience acquise dans le domaine de la microélectronique, dont les dimensions critiques sont d'ores et déjà inférieures à 100 nanomètres. Dans le domaine des nanomatériaux, plusieurs grands groupes français et des entreprises petites ou moyennes exercent leur créativité sur ce segment de marché et commencent à bénéficier des avancées offertes par les nanomatériaux.

© Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie
05/03/2008 - DGE

Ex Académie Nationale de Médecine

Les nanotechnologies

Introduction

Définition

Les nanotechnologies peuvent être définies comme étant la création et l'utilisation de matériaux, d'instruments et de systèmes portant sur la matière de 1 à 100 nanomètres, un nanomètre correspondant à un milliardième de mètre. Cette définition, basée sur la taille, cache en réalité le fait que ces matériaux, structures ou systèmes possèdent des propriétés découlant spécifiquement de cette taille nanométrique. A cette taille, **la matière acquiert des propriétés inattendues**, totalement différentes de celles des mêmes matériaux à l'échelle micro ou macroscopique, notamment en termes de résistance mécanique, de réactivité chimique, de conductivité électrique ou de fluorescence. Ainsi un nanotube de carbone, 100 fois plus léger et 6 fois plus résistant que l'acier, présente une surface spécifique très grande lui conférant des propriétés de réactivité particulières, et des propriétés mécaniques permettant la fabrication de matériaux composites de haute performance.

Les nanotechnologies apparaissent révolutionnaires bien qu'étant dans la continuité des actions dont le but était la miniaturisation des dispositifs électroniques et de techniques permettant d'observer des objets infiniment petits grâce à l'apport de la physique, de la chimie et de la biologie. Le côté révolutionnaire est dû au fait que cette continuité s'est accompagnée d'une rupture, la possibilité de **manipuler la matière**, atome par atome, grâce à la microscopie à effet tunnel, la pointe du microscope permettant de saisir des atomes quand on la soumet à une tension électrique et de les déposer là où on le souhaite en inversant la tension.

Si les nanotechnologies se trouvent encore à la frontière entre la réalité scientifique et des visions ambitieuses ou entre des premières utilisations et des applications prometteuses, on les retrouve déjà partout, aussi bien dans des pneumatiques, de la crème solaire ou des raquettes de tennis, sans oublier l'électronique et les semi-conducteurs que dans de nouveaux médicaments répondant à des besoins médicaux mal satisfaits, ou de nouvelles techniques de dépollution.

Présentation succincte du secteur et de quelques applications

Les nanotechnologies peuvent se décliner sur plusieurs domaines :

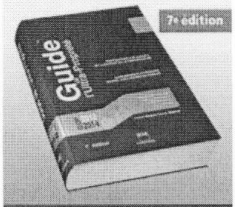
Les **nanomatériaux** impliquent l'utilisation de procédés permettant la structuration de la matière au niveau atomique, moléculaire ou supramoléculaire à des échelles caractéristiques de 1 à 100 nanomètres, ce qui conduit à des propriétés très particulières par rapport aux matériaux passifs. Les matériaux nanochargés par incorporation d'une nanoparticule dans une matrice organique ou minérale permettent d'obtenir des fonctionnalités ou des propriétés mécaniques, optiques, magnétiques ou thermiques originales. Les matériaux nanostructurés en surface forment un revêtement bien défini aux fonctionnalités nouvelles (adhérence, dureté, auto-nettoyage...) accompagnées d'une résistance à l'érosion ou à l'abrasion améliorée. Les matériaux nanostructurés en volume possèdent une structure en réseau nanométrique tout en constituant des matériaux massifs.

La **nanoélectronique** a un impact considérable dans toutes les technologies de la communication. Les nanotechnologies amènent à réfléchir à de nouvelles architectures pour les circuits, par exemple sur le modèle du cerveau où chaque neurone est connecté à plusieurs milliers de voisins. Elles permettent d'envisager la miniaturisation des transistors MOS qui ne seraient constitués que d'un nanocristal où le bit d'information serait réduit à un seul électron. A cela s'ajoute l'utilisation de photons pour transmettre les informations dans les circuits.

Les **nanobiotechnologies** présentent de nombreuses applications dans tous les domaines associés aux sciences de la vie, la santé par le développement de nouveaux diagnostics et de nouvelles thérapies ciblées, mais aussi la nutrition par le développement d'aliments fonctionnels ou l'environnement par la mise en œuvre de procédés propres et économes en énergie.

De nombreux secteurs industriels sont concernés par le développement des nanotechnologies ; sans être exhaustif, l'encadré ci-après présente de nombreuses applications.

Guide de l'Ultra-Propreté
L'ouvrage de référence du secteur de la maîtrise de la contamination



Présentation de l'édition 2012-2014
- Dossier technique complet
- Tous les experts et professionnels du secteur

COMMANDER | SE RÉFÉRENCER

Principaux secteurs industriels concernés par les nanotechnologies, et exemples d'applications

Aéronautique et spatial : amélioration de la performance et réduction du poids des matériaux, en développant des revêtements permettant une protection mécanique, contre la corrosion et constituant une barrière thermique dans les pièces mécaniques des moteurs par exemple. Les améliorations recherchées portent principalement sur les procédés de dépôt de surface.

Automobile : allégement des véhicules, par le développement de nanocomposites à matrice polymère, et traitement des gaz de combustion par des pots catalytiques présentant une grande surface d'échange.

Caoutchouc : utilisation de noir de carbone et de particules de silice dans les pneumatiques pour en réduire le poids, en augmenter la durée de vie et faciliter leur recyclage en fin de vie.

Chimie et matériaux : élargissement des domaines d'application des polymères par développement de nanocomposites à matrice polymère, conception de membranes pour la séparation de matériaux en solution ou dispersés dans un liquide ou un gaz, développement de technologies de collage sans colle, élaboration de nouveaux produits ayant des propriétés catalytiques plus efficaces et plus larges.

Cosmétique : utilisation de nanoparticules pour lutter contre le rayonnement ultraviolet et le vieillissement de la peau ou pour obtenir des produits résistant à l'eau.

Electronique et communications : mémoires à haute densité, processeurs miniaturisés, batteries performantes, écrans plats.

Energie : utilisation de nanotubes de carbone dans le stockage de l'hydrogène, développement de revêtements amplifiant l'effet photovoltaïque.

Environnement : traitement des effluents par photocatalyse, récupération et recyclage par des procédés utilisant des membranes organiques nano-fonctionnelles.

Santé : délivrance intelligente des médicaments par vectorisation des principes actifs, moyens de diagnostic miniaturisés, implants avec des revêtements améliorant la biocompatibilité et la bioactivité.

Photos : Briques de base pour un circuit électronique ultime dans lequel le signal d'horloge est généré sous forme lumineuse par un modulateur en Si, couplé à un guide d'onde, puis distribué vers des photo-détecteurs en Ge (dimensions de 7 à 400 nm). A. Bournel - IEF/Orsay - Collaboration IEF/CEA-Leti Grenoble.

Le développement des produits dans ces différents secteurs met en œuvre deux approches. L'approche "**top-down**" ou approche descendante revient à miniaturiser à l'extrême ce qui est déjà à l'échelle microscopique. L'approche "**bottom-up**" ou approche ascendante consiste en la construction de structures atome par atome ou molécule par molécule. Elle utilise la synthèse chimique, mais aussi l'auto-assemblage des atomes ou molécules par interactions faibles.

Enjeux économiques

Le marché des nanotechnologies est en forte croissance partout dans le monde...

Extrait du dossier technique

Marcel LAHMANI, Jean HACHE
Université d'Evry - Dépt. Sciences des Matériaux

© BCMI SAS - Dossier réalisé pour le Guide de l'Ultra-Propreté

Retour à la liste "Evolutions sectorielles"

S'abonner Référencer votre entreprise Nous contacter Conditions générales d'utilisation

© BCMI SAS 1995-2012 - Guide de l'Ultra-Propreté - Dernière mise à jour du site : 05/02/2012 - 14:50:52

Ex-Académie Nationale de Médecine

Débat sur les nanotechnologies

À l'instar des autres innovations scientifiques telles que les OGM, la téléphonie mobile, et le nucléaire, les nanoparticules font l'objet d'une controverse publique opposant principalement scientifiques et écologistes.

Les développements actuels des sciences permettent d'explorer, à l'échelle du nanomètre, des domaines d'interfaces entre les différentes techniques : étudier et développer des techniques mettant en œuvre des procédés nanométriques impliquant à la fois des aspects chimiques, physiques et biologiques et notamment modifier la matière à l'échelle de l'atome. Ces techniques sont regroupées sous le terme de nanotechnologies.

Si les études et techniques qui mettent en œuvre ces procédés sont utilisées depuis de nombreuses années en chimie, en physique ou en biologie, les progrès annoncés comme considérables dans de nombreux domaines ont donné naissance à un **débat sur les nanotechnologies**. Ce débat concerne tout aussi bien des questions sanitaires et éthiques, que la notion de gestion des risques industriels ou encore le principe de précaution.

Le développement de ces technologies, qui pourrait annoncer une nouvelle révolution industrielle[1], est aussi, selon leurs critiques, l'occasion de remettre en question la position des sciences et de la libre entreprise dans une démocratie et de reprendre un débat presque aussi vieux que l'humanité[2] : préciser la place des inventions humaines[3] par rapport à l'homme - préciser la position de l'inventeur par rapport aux autres.

Sommaire

1 Débats économiques et techniques
1.1 Enjeux économiques
1.2 Enjeux techniques et d'innovation
1.3 Gestion de risques
2 Débats de santé publique
2.1 Données de nanotoxicologie
2.2 Applications cosmétiques
2.3 Applications médicales
3 Débats éthiques
3.1 Débat juridique
3.2 Applications de sécurité et débat sur la vie privée
3.3 Applications militaires
3.4 Débats sur l'évolution de l'humanité
3.4.1 Craintes d'hybridation et de transhumanisme
3.4.2 Théorie controversée de la « gelée grise » et de la « gelée verte »
4 Débats secondaires
4.1 Usurpation du label Nanotechnologie
5 Evolution du débat
5.1 Naissance du débat

5.2 Manifestations
6 Notes et références
7 Voir aussi
7.1 Bibliographie
7.2 Filmographie
7.3 Articles connexes

Débats économiques et techniques

Enjeux économiques

Posé en termes économiques, le débat sur les nanotechnologies s'attache à poser les coûts et les bénéfices attendus pour en tirer un rapport risque/bénéfice.

Le marché de ces nouvelles technologies est estimé à plusieurs milliards de dollars à l'horizon 2015[4]. La course aux brevets qui existe déjà dans la matière macroscopique, ainsi que dans la recherche nucléaire s'étend donc aussi au monde des nanotechnologies.

Enjeux techniques et d'innovation

Au-delà des nanorobots et de l'interface vivant-inerte le champ des applications des nanotechnologies est vaste, concernant pratiquement la totalité des secteurs industriels.

Les nanotechnologies peuvent permettre la production de **matériaux** plus solides et plus légers que ceux actuellement produits (acier, aluminium, etc.) . à un coût similaire - voire inférieur [réf. nécessaire]. Ils intéressent notamment l'industrie aéronautique (ils sont par exemple utilisés sur les airbus A380 et A350) [réf. nécessaire] et automobile.

La généralisation de l'usage de ces matériaux bouleverserait l'industrie traditionnelle d'extraction et de production de matériaux. [réf. nécessaire] L'industrie minière, essentiellement située dans des pays du tiers monde, pourrait être affectée.

Les **déchets** des produits industriels pourraient être directement désassemblées en leurs éléments constitutifs, faisant du recyclage une des principales formes de production de matières premières. La même application pourrait valoir aussi pour la pollution en général[5].

Inversement, des risques liés à la généralisation de nanoparticules dans les matériaux peuvent apparaître lors de la dégradation naturelle des produits.

Gestion de risques

La recherche civile sur les nanotechnologies explore de nombreux axes jugés prometteurs, en tenant compte de la gestion des risques [6,7,8,9]. Cependant, alors que les investissements financiers privés et publics dans ces technologies sont considérables, moins de 5% [10] des budgets sont consacrés à l'évaluation des

risques [réf. nécessaire].

Débats de santé publique

Données de nanotoxicologie

La nanotoxicologie est la branche de la toxicologie qui étudie l'impact des nanotechnologies sur la santé des êtres humains.

Dans un rapport publié fin 2008, l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) juge que, compte tenu de sa jeunesse, la nanotoxicologie fournit « des résultats encore peu nombreux, disparates et parfois contradictoires »[11].

La nanotoxicologie s'attache à étudier les trois voies possibles d'exposition de l'Homme aux nanotechnologies : voie cutanée, digestive et respiratoire. Parmi les résultats les plus marquant des études scientifiques, le quotidien économique français *Les Echos* relève, à la suite de l'Afsset, l'exposition par voie respiratoire : « les nanoparticules pourraient traverser la barrière de l'épithélium pulmonaire pour atteindre la circulation sanguine et les ganglions lymphatiques et se répartir ensuite dans l'organisme, franchir la barrière placentaire »[12].

Applications cosmétiques

Dans les produits cosmétiques, les nanotechnologies sont utilisées sous forme de nanoparticules. Des actifs sont encapsulés dans ces nanoparticules pour leur donner de nouvelles propriétés. Elles améliorent ainsi le pouvoir couvrant, adhérent et pénétrant des produits cosmétiques. En d'autres termes elles augmentent l'efficacité des cosmétiques. Par exemple, on utilise sous forme de nanoparticules l'oxyde de titane pour éviter le blanchiment de votre peau lorsque vous vous enduisez de crème solaire. On encapsule aussi les vitamines E pour leur permettre de passer la barrière cutanée. De nombreuses marques ont annoncé les nanotechnologies comme une révolution cosmétique, mais faire passer la barrière cutanée à des actifs est-il bien neutre pour la santé ? Les nanotechnologies sont récentes, leurs effets sur la santé ne sont pas bien connus puisque jusqu'à lors très peu d'études ont été effectuées sur le sujet. Certaines études ont néanmoins d'ores et déjà alerté la communauté scientifique quant à la toxicité de ces particules[13]. Des chercheurs américains ont mis en évidence les possibles dangers des nanoparticules[14] (présentes notamment dans des crèmes solaires[15]) pour les voies respiratoires, où leurs effets seraient comparables à ceux de l'amiante. [réf. nécessaire]

En France, des produits courants utilisent des nanotechnologies. C'est le cas de certains savons ou huiles solaires. L'étiquetage ne précise pas la présence d'éléments issus des nanotechnologies.

Le groupe de cosmétiques L'Oréal a mis en avant la présence de tels éléments dans certaines de ses publicités [réf. nécessaire] et a ensuite renoncé à un tel affichage. Une des raisons possible de ce revirement est le risque d'une contre-publicité liée à la présence d'éléments issus des nanotechnologies.

En 2006, l'association écologiste Amis de la Terre ont rappelé que certains des plus grands noms des

cosmétiques, comme L'Oréal, Revlon ou Estée Lauder, continuent de vendre des produits contenant des ingrédients nanotechnologiques alors qu'il y aurait de plus en plus de preuves que ces matériaux peuvent être toxiques pour les humains [réf. nécessaire].

En 2004, un rapport de la Royal Society britannique[16] recommandait que "les composants sous forme de nanoparticules devraient être soumis à une étude de risque complète menée par le conseil scientifique adéquat, avant quelles ne soient autorisées à être utilisées dans des produits".

Applications médicales

L'industrie médicale est habituée à la gestion des risques sanitaires. Elle manipule au quotidien des substances toxiques ou de natures biologiques[17], chimiques[18] et nucléaires[19]. Malgré les accidents, ces techniques ont prouvé leur efficacité sur le long terme[20] ainsi que leurs limites[21].

Étant de taille adaptées aux cellules, les nano-technologies trouvent leur place dans l'équipement médical et dans les recherches médicales. Différents axes de travail sur la lutte contre le cancer[22] sont explorés[23].

Débats éthiques

De nombreux théoriciens ont réfléchi aux implications de la science pour l'Homme, notamment Jacques Ellul, en 1977, dans *Le système technicien* (Calmann-Lévy). Pour eux, à l'instar des OGM ou de l'énergie nucléaire, les nanotechnologies ne relèvent pas du domaine strictement scientifique, car la science a une influence (négative comme positive) sur notre vie quotidienne [réf. nécessaire].

Débat juridique

Depuis peu, les juristes commencent à formuler des problématiques juridiques à propos des nanotechnologies: quelques articles sont parus à la suite de l'avis du Conseil national d'éthique de février 2007. Ils traitent du principe de précaution, du droit à l'information, de la responsabilité, des libertés publiques, de la propriété intellectuelle[24]...

Applications de sécurité et débat sur la vie privée

Les nanotechnologies permettraient d'étendre les possibilités dans le traçage des personnes et la biométrie.

Le marché de la biométrie est en pleine croissance à la fin des années 2000. L'existence de puces d'identification n'est pas nouvelle et est largement utilisée au quotidien (en 2008). C'est par exemple sur de tels principes que reposent certains systèmes d'abonnements à des transports en commun[25] : des puces sont approchées d'une borne qui en modifie le contenu et, par exemple, valide un trajet. Seule la miniaturisation plus importante dont ces puces font l'objet est nouvelle. C'est cette miniaturisation ainsi que la propagation de ces puces qui font l'objet de critiques. En l'état des recherches, l'utilisation de telles puces n'est néanmoins possible qu'à très faible distance : il n'est possible d'activer ces puces qu'en les approchant d'un détecteur. Par ailleurs, des puces sous-cutanées sont déjà employées pour identifier des animaux ou des personnes volontaires. On l'utilise par exemple sur certains prisonniers, à qui on propose le système en échange d'une liberté conditionnelle. [réf. nécessaire] En Espagne, une boîte de nuit utilise le système pour

fidéliser sa clientèle, en offrant des cadeaux en contrepartie. [réf. nécessaire]

De telles applications ne font pas l'unanimité. Les critiques portent :

- sur les conséquences pour les libertés individuelles.
- sur les modalités de mise en œuvre. Selon certains, ces technologies engagent la société dans un modèle « sécuritaire », que le peuple n'aurait pas eu la possibilité de choisir par la voie démocratique car on ne lui en aurait pas présenté tous les enjeux. Les opposants posent la question du pouvoir de décision du peuple sur les choix technologiques dans le cadre des systèmes démocratiques. [réf. nécessaire]

Ses application en matière de sécurité relèvent de la loi, dont certains réclament une adaptation, et des instances de régulation, telle la CNIL en France.

Des opposants aux nanotechnologies affirment [réf. nécessaire] que les médias[26] semblent aujourd'hui être incapables d'esprit critique vis-à-vis des nanotechnologies. Pour eux, il semble plutôt que l'opinion est préparée pour n'en voir que le « bon côté », c'est-à-dire les simplifications de la vie quotidienne et certaines baisses de coûts[27].

D'un point de vue budgétaire, ces opposants dénoncent le parti pris apparent des gouvernements pour les nanotechnologies. [réf. nécessaire]

Cependant, une branche de ces opposants milite [réf. nécessaire], non pour un simple contrôle citoyen de ces technologies, mais pour leur interdiction totale à cause selon eux du trop grand nombre de risques et des trop faibles avantages pour la population.

Applications militaires

Parmi les applications étudiées par l'armée française dans les années 2000 : le programme FELIN d'équipement du fantassin, nano-capteurs, missiles « intelligents », micro-drones, armes chimiques nano-encapsulées, etc. Ces applications ne relèvent pas à proprement parler des nanotechnologies, mais essentiellement de macrotechnologies déjà existantes.

Selon le philosophe des sciences Jean-Pierre Dupuy[28], les nanotechnologies sont « un nouvel avatar de la course aux armements [réf. nécessaire] » : « *Les nano-armes seront à la bombe atomique ce que celle-ci était à la fronde* [réf. nécessaire] ». Pour lui, c'est la notion même d'éthique qui ne peut plus être la même après l'avènement des nanotechnologies.

Le débat s'est encore approfondi suite à l'opération militaire israélienne contre Gaza entamée en décembre 2008 suite à laquelle certaines organisations accusent Tsahal d'avoir eu recours à des armes de nouvelle génération contenant du fullerène[29].

Débats sur l'évolution de l'humanité

Craintes d'hybridation et de transhumanisme

Les nanotechnologies ont aussi soulevé des questions philosophiques et éthiques liées au remplacement de

l'homme par les robots, à la mutation de l'homme, à son hybridation avec la technique. On parle alors de transhumanisme. Le dépassement de l'Homme par une forme de vie et d'intelligence supérieure est envisagé par certains [30].

Théorie controversée de la « gelée grise » et de la « gelée verte »

Au travers de la nanotechnologie, des « engins de création », les assembleurs moléculaires, seraient capables d'assembler, atome par atome, n'importe quel objet - à commencer par des répliques d'eux-mêmes. Eric Drexler, dans son livre, *Engins de création* [31], envisage cette hypothèse aussi appelée « grey goo », c'est-à-dire « gelée grise ». En août 2004, dans un article intitulé *Safe exponential manufacturing* [32] paru dans le *Nanotechnology journal*, Eric Drexler revient sur ses propos. Il souligne qu'un accident de type « gelée grise » ne pourrait plus se produire, car la fabrication moléculaire n'aurait plus intérêt à faire appel à des nano-robots auto-reproductibles et donc n'envisagerait pas de développer ces technologies [33].

Un autre danger possible mis en avant vient d'une convergence entre applications nanotechnologiques et les biotechnologies : on parle [réf. nécessaire] de « gelée verte » - semblable à celui de la « gelée grise », avec un aspect biologique en plus. Il serait en effet possible que certaines combinaisons entre la biologie et la nanotechnologie révèle des risques insoupçonnés [réf. nécessaire], d'où un principe de précaution renforcé.

Selon certains, le danger de cette potentielle « gelée verte » pourrait être contre-carré par les lois naturelles - type équilibre de l'écosystème ou théorie de l'évolution. [réf. nécessaire]

Il convient donc ici de séparer deux niveaux : macro-démographique (l'ensemble de la population) et micro-démographique (effets sur une ou plusieurs parties de la population). Le risque sur l'ensemble de la population humaine est donc considéré comme négligeable, alors que les effets à court terme sur une partie peut-être importante de la population pourraient être graves (pandémies, famines, etc.). [réf. nécessaire]

Un nanorobot doit trouver dans son environnement immédiat une source d'énergie et de matières premières pour fonctionner et se reproduire ce qui limite de fait la propagation.

De plus, certains craignent que des droits de reproduction soient facturés par les concepteurs des nanomachines, ou qu'ils seront restreints pour des raisons de licence, de même que certaines semences OGM vendues en agriculture sont stériles. [réf. nécessaire]

Débats secondaires

Usurpation du label *Nanotechnologie*

Afin d'accéder à des budgets importants, certains centres de recherches ou de développement, présentent leur travaux comme relevant des nanotechnologies alors même qu'elles relèvent de technologies beaucoup plus classique.

On compte parmi ces faux :

1. des technologies issue de miniaturisation à niveau macroscopique, c'est le cas de nombreuses technologies militaires présentées sous ce label (Notamment les drones, missiles et de la plupart des

éléments du programme FELIN);
2. des technologies relevant de microtechnologies classiques ;
3. des technologies impliquant des procédés nanométriques ne relevant pas de domaines d'interfaces entre divers domaines. En chimie, les réactions se font à niveau atomique ou moléculaire. En physique, où les technologies laser et nucléaires se font à niveau nanométrique. Cependant, la majorité de ces techniques chimiques ou physiques ne sont pas à l'interface entre plusieurs technologies nanométriques issues de domaines différents et n'entrent pas dans le domaine des nanotechnologies.

La revendication large de l'appartenance aux nanotechnologies est source de confusion dans le débat sur les nanotechnologies.

Evolution du débat

Naissance du débat

En 1999, l'informaticien Bill Joy, créateur du langage Java a publié dans *Wired* un article qui a fait date intitulé : « *Pourquoi le futur n'a pas besoin de nous* »[34] et en sous-titre : « *Les technologies les plus puissantes du XXIe siècle : le génie génétique, la robotique et les nanotechnologies menacent d'extinction l'espèce humaine* ». Cet article a provoqué une prise de conscience et diverses prises de position face aux risques des nanotechnologies, notamment du Prince Charles.

Anticipant la recherche de plusieurs années, des débats sont organisés :

- Des collectifs tels que les *OGN* dénoncent le choix de société que ces technologies peuvent préparer et déclarent : « Nous ne voulons pas du nanomonde, avec ses nanoparticules toxiques, ses armes intelligentes, ses organismes atomiquement modifiés (OAM), ses mouchards électroniques, son techno-contrôle permanent.[réf. nécessaire] »
- D'autres débats[réf. nécessaire] mettent en avant le caractère utopique ou anticipé de ces critiques[35].

Cependant, certains répondent que ces hypothèses supposent souvent l'existence de nano-machines perfectionnées, loin d'être envisageable à l'heure actuelle[réf. nécessaire].

Les défenseurs des nanotechnologies comparent ces risques à ceux, au cours des années 1960, que l'informatique débouche sur une intelligence artificielle qui dominerait l'humanité.

En juin 2004, à Alexandria (Virginie), des représentants de 25 nations ont pour la première fois débattu de la façon de réguler ce type de recherche au niveau planétaire.[réf. nécessaire]

Divers gouvernements, dont celui des USA en 2006, s'interrogent sur les nouveaux risques (avérés ou suspectés) qui peuvent découler des nanotechnologies, et sur les moyens de les gérer[36].

Une enquête effectuée fin 2007 aux États-Unis[37], montre une forte différence de perception et de

hiérarchisation des risques liés aux nanotechnologies, selon que les questions étaient posées aux scientifiques ou au grand public, alors que leur appréciation des bénéfices potentiels étaient relativement proches :

1. Les scientifiques interrogés étaient plus inquiets que le public à propos des impacts sur la santé des nanoproduits ou par des caractéristiques de « nouveaux polluants » de ces produits.
2. Le public était beaucoup plus inquiet que les scientifiques sur les risques d'atteinte à la vie privée, de pertes supplémentaires d'emplois et de course aux armements.

Manifestations

- Grenoble, France. Une première manifestation mondiale contre les nanotechnologies les 2 et 3 Juin 2006 lors de l'inauguration de Minatec - environ 800 personnes (membres de comités AZF, du collectif Sortir du Nucléaire, etc.)[38,39,40].

Notes et références

1. Canal Universitaire (http://www.canalu.fr/themes__1/sciences_fondamentales/physique/nanotechnologies_la_prochaine_revolution_industrielle) , Fabrication moléculaire : la prochaine révolution industrielle ? (CNRS) (http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2160682)
2. Voir aussi *Pourquoi j'ai mangé mon père*
3. Voir aussi le Cycle Kondratieff
4. Voir le dossier *Nanobrevets « de deuxième nature » : Implications pour les pays du Sud* (http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=550) , réalisé par ETC Group (http://www.etcgroup.org/)
5. Dépollution de l'eau (http://www.automatesintelligents.com/echanges/2004/oct/eau.html)
6. [PDF] [1] (http://www.assemblee-nationale.fr/12/cr-oecst/05-06/programme_nano_06.pdf)
7. [PDF] [2] (http://recherche.assemblee-nationale.fr/visualiser.asp?k2dockey=http%3A%2F%2Fwww%2Eassemblee%2Dnationale%2Efr%2F12%2Frap%2Doff%2Fi1588%2D02%2Easp%40site&serverSpec=localhost:9920&querytext=nanotechnologie&OrigQuery=&QueryParser=Simple&logTitle=&dtype=2&collection=site&allsite=oui&intervention=&aut=&ResultStart=1&ResultDocStart=1)
8. [PDF] [3] (http://asso.objectif-sciences.com/La-gestion-des-risques-lies-aux-nanotechnologies-au-Royaume.html)
9. [PDF] [4] (http://www.nanoworld.jp/apnw/articles/library3/pdf/3-39.pdf)
10. (obsolètes?)
11. Afsset, *Nanomatériaux : concilier l'innovation et la sécurité sanitaire*, 10/10/2008 (http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/511821750834000786123519684814/dp_afsset_nanomateriaux.pdf)
12. *Les Echos*, « Quels risques pour la santé ? », 3 décembre 2008, page 10.
13. Expertise mademoiselle bio[5] (http://expertise.mademoiselle-bio.com/index/2008/02/21/318-danger-nanocapsules-cosmetiques)
14. « En fonction du mode de contamination, et selon l'état de surface des nanoparticules, celles-ci pourraient s'agréger et endommager certains organes du corps humain, précise Marie Carrière, chercheuse au CEA. »
15. nano.foe.org.au (http://nano.foe.org.au/)
16. Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties. Royal Society, 2004. (http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm)
17. Autre risques médical biologiques : bactérie,maladie nosocomiale, champignons, vaccin
18. Autres risques médical chimiques poison, toxicomanie
19. Autres risques médical chimique : radiothérapie
20. La première vaccination remonte au 14 mai 1796. L'explication de la vaccination et la première vaccination de Pasteur remonte au 5 mai 1881. De même, la première utilisation de substances radiologiques en médecine par Marie Curie date de la Première Guerre mondiale. La découverte de la pénicilline date du XIXe siècle et ses

propriétés sont expliquées en 1928.

21. La quasi totalité des principes actifs des médicaments sont toxiques voire mortels selon les doses utilisées. Les résistances aux antibiotiques sont notées dès les années 1950. Marie Curie, est décédée des suites d'une leucémie vraisemblablement causée par son exposition aux matières radioactives
22. Actualité > L'avenir des nanotechnologies dans la lutte contre le cancer (http://www.futura-sciences.com/news-avenir-nanotechnologies-lutte-contre-cancer_4394.php)
23. Un virus pour combattre le cancer - Stages et Colonies de vacances scientifiques, Classes de découvertes, Clubs sciences, Projets pédagogiques en écoles, collèges et lycées... (http://asso.objectif-sciences.com/Un-virus-pour-combattre-le-cancer.html)
24. Comité consultatif national d'éthique (CCNE)Avis sur les questions éthiques posées par les nanosciences, les nanotechnologies et la santé, février 2007:http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/college/v2/medias/06-07/conferences/03-07-nanotechnologies/cahiers/cahier-4.pdf,Le texte intégral de l'avis N°96 est disponible sur le site Internet du CCNE :http://www.ccne-ethique.fr/francais/start.htm ; CNRS éditions en avril 2008 (on peut citer: La responsabilité du fait des nanotechnologies : entre droit positif, droit prospectif et science-fiction,Étienne Vergès;Le droit à la rencontre des technologies de l'information et de la communication : le cas du RFID,Yves Poullet, Antoinette Rouvroy et Denis Darquennes;Libres propos sur le droit des brevets et les nanotechnologies;Kervennic(M.), Quelques problèmes juridiques posés par les nanosciences et les nanotechnologies : LPA 2008, n° 132, p. 5.;Stéphanie Lacour, « questions éthiques posées par les nanosciences les nanotechnologies et la santé », Gazette du Palais 2007-06 v.127 n°157-158; Corinne Lepage, L'urgence d'un droit des nanotechnologies, Gazette du Palais, 4 juillet 2009, n° 185, p.3
25. Korrigo - à Rennes (35)
26. Les opposants soulignent des liens entre les médias et les marchands d'armes
27. Par exemple, une baisse du coût de gestion des bibliothèques et grandes surfaces, voire comme à l'université Cornell l'accès à ces bibliothèques 24 heures sur 24 sans la moindre formalité concernant les emprunts
28. Philosophe des sciences, professeur à l'université de Stanford - Rédacteur de rapports pour le CEA
29. Israel a bien utilise dans la bande de Gaza des armes a Uranium Appauvri (http://acdn.france.free.fr/spip/article.php3?id_article=490)
30. http://www.transhumanistes.com/presentation.php
31. Chapitre 11, « Engins de destruction »
32. *Safe exponential manufacturing* (http://www.iop.org/EJ/abstract/0957-4484/15/8/001/) , par Eric Drexler
33. *Drexler dubs "grey goo" fears obsolete* (http://www.nanotechweb.org/articles/society/3/6/1/1) : *Drexler craint que la gelée grise soit obsolète*
34. *Pourquoi le futur n'a pas besoin de nous* (http://sciencescitoyennes.org/article.php3?id_article=1445)
35. « L'avenir des nanotechnologies » (http://www.institutdiderot.fr/dialogues-du-matin.html?rendezvous_id=39) , conférence d'Etienne Klein à l'Institut Diderot, le 12 janvier 2010
36. Rapport « *Comment maîtriser les risques posés par les nanotechnologies* » (http://www.bulletins-electroniques.com/rapports/2006/smm06_081.htm) (rapport 2006)
37. étude conduite par l'University de Wisconsin-Madison et l'Arizona State University auprès de 363 scientifiques et ingénieurs du secteur des nanotechnologies et auprès de 1015 Américains, relayée par l'ambassade de France à Washington dans ce bulletin d'information (http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/52106.htm) de Décembre 2007
38. « Nanotechnologies et mégadoutes » (http://www.lecourrier.ch/index.php?name=NewsPaper&file=article&sid=42476) , *Le Courrier*, 8 novembre 2006.
39. « Les nanotechnologies déjà condamnées ? » (http://archives.lesechos.fr/archives/2006/LesEchos/19793-68-ECH.htm) , *Les Échos*, 14 novembre 2006.
40. « L'ouverture du pôle Minatec cristallise la critique des nanotechnologies », *Le Monde*, 2 juin 2006.

Voir aussi

Bibliographie

- (en) Mark R. Wiesner and Jean-Yves Bottero (2007), *Environmental Nanotechnology : Applications and Impacts of Nanomaterials*, Mc Graw Hill, New York, ISBN 9780071477505
- (fr) Roy Lewis , *Pourquoi j'ai mangé mon père*, (ISBN 2266084372)
- (fr) Pièces et Main d'Œuvre, *Nanotechnologies/Maxiservitudes*, L'Esprit frappeur, 2006, 133 pages, (ISBN 2844052266)
- (fr) Pièces et Main d'Œuvre, *Aujourd'hui Le Nanomonde. Les nanotechnologies, un projet de société totalitaire*, éditions de L'Échappée, 2008, 430 p.
- (fr) Jean-Pierre Dupuy, « Le risque inouï des nanotechnologies », *L'Écologiste*, n°10, juin 2003, p. 70-72. L'un des articles clefs du premier dossier critique de la presse française sur les nanotechnologies.
- (fr) Paul Lannoye, « Les nanotechnologies auront-elles notre peau ? », *L'Ecologiste* n° 21, décembre-mars 2007
- *Nanotechnologies, nanoparticules : Quels dangers ? Quels risques ?* Rapport du CPP (Comité de la Prévention et de la Précaution. Fichier PDF[6] (http://www.ecologie.gouv.fr/article.php3?id_article=6041) , juin 2006.
- *Les nanomatériaux : Effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement*, Rapport de l'AFSSET [7] (http://www.afsset.fr/) (Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail) fichier PDF [8] (http://www.afsset.fr/index.php?pageid=707&parentid=424) , juin 2006.

Filmographie

- *Alerte à Babylone* de Jean Druon
- *Le Silence Des Nanos. Un cyberdocumentaire sur notre avenir technologique* de Julien Colin, site du film (http://www.lesilencedesnanos.com)
- *Les nanos et nous* de David Hover. Film sur la Conférence de citoyens organisée en 2006 par la Région Ile-de-France à propos de la recherche sur les nanotechnologies [9] (http://espaceprojets.iledefrance.fr) , rubrique « nanocitoyens ».

Articles connexes

- Transhumanisme
- Minatec
- Nanomètre
- Nano-informatique

Ce document provient de « http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=D%C3%A9bat_sur_les_nanotechnologies&oldid=74587303 ».

Dernière modification de cette page le 21 janvier 2012 à 04:38.
Droit d'auteur : les textes sont disponibles sous licence Creative Commons paternité partage à l'identique ; d'autres conditions peuvent s'appliquer. Voyez les conditions d'utilisation pour plus de détails, ainsi que les crédits graphiques. En cas de réutilisation des textes de cette page, voyez comment citer les auteurs et mentionner la licence.
Wikipedia® est une marque déposée de la Wikimedia Foundation, Inc., organisation de bienfaisance régie par le paragraphe 501(c)(3) du code fiscal des États-Unis.

Chapitre 15

Consignes et documents distribués aux élèves lors de la dernière séance

Cette annexe rassemble dans l'ordre :

- la trame de la séance avec les consignes orales qui ont cadré la séance ;
- les fiches distribuées aux élèves pour la dernière séance ;
- la synthèse des présentations effectuées par les élèves lors de la recherche documentaire et qui a servi de support pour cette séance ;
- les questions auxquelles les élèves ont abouti d'abord en travaillant par groupes de trois puis au travers de la discussion en classe entière ;
- le cahier d'acteur de la classe qui a finalement été produit ;

Séance de synthèse : Modification du cahier d'acteur et préparation de questions pour la venue au lycée d'un physicien travaillant sur les nanotechnologies

Place dans la séquence : Activité 3 (Après Nano@school)	Durée totale : 1H30

Finalité de l'activité pour les élèves	1. Permettre aux élèves de se positionner et de discuter de manière argumentée une fois informés 2. Permettre aux élèves d'exprimer leur désaccord par rapport aux aspects mis en avant par d'autres groupes 3. Valider le contenu du cahier d'acteur, construit à partir des propos des élèves
Matériel et salles	– Un vidéoprojecteur ; – Fiches de consignes élèves + synthèses des présentations – 1 salle pour que les élèves préparent la discussion en petits groupe – 1 grande salle organisée en hémicycle pour la discussion en classe entière

Cette séance fait suite aux recherches documentaires et aux présentations des élèves. Une ébauche de cahier d'acteur, synthétisant les éléments mis en avant par les élèves au cours de leurs présentations leur est distribuée. La séance doit servir :

- à finaliser ce texte pour pouvoir ensuite le mettre sous forme de cahier d'acteur

- et à formuler des questions, en s'appuyant sur ce texte, pour discuter ensuite avec un intervenant extérieur des questions soulevées par les développements des nanotechnologies.

Phase	Durée	Consignes et aspects pratiques
Présentation de la séance	5 min	– *La salle est arrangée avec les tables disposées de telle sorte que les élèves travaillent en petits groupes de 3 ou 4.* – *Les élèves s'intallent en reformant les groupes de la séance de recherche documentaire* – Présentation de l'objectif de la séance : séance de synthèse servant à la préparation de la venue au lycée d'un physicien (Joël Chevrier, professeur à l'UJF de Grenoble, qui effectue ses recherches au département nano de l'Institut Néel, un institut de recherche de physique). Il viendra au lycée en avril pour donner une conférence sur les nanotechnologies à tous les premières S et comme les élèves ont travaillé sur les enjeux de ces développements, on leur propose de discuter avec lui en lui soumettant quelques questions. – Ce qu'on va faire dans cette séance : - A partir des présentations que les élèves ont effectuées lors de la séance de recherche documentaire, on a construit une synthèse qui reprend leurs contenus. - Aujourd'hui, on voudrait que les élèves discutent cette synthèse pour pouvoir ensuite la mettre sous la forme d'un cahier d'acteur de la classe. Puis on souhaite que les élèves s'appuient sur le contenu de ce texte pour proposer des questions qu'ils poseront à Joël Chevrier lors de sa venue pour donner une conférence devant l'ensemble des premières S du lycée. – Présentation du déroulement de la séance La séance va s'organiser en 3 temps. 1. Distribution de la synthèse ; un temps de lecture et de réflexion individuelle sur son contenu. 2. Ensuite, temps de mise en commun en petit groupe : - Est-ce que ce texte retranscrit bien ce que vous avez dit ? - Est-ce qu'il y a des points que vous voulez modifier ? et pourquoi ? - Qu'est-ce qui vous semble important à mettre en avant lors de la venue de Joël Chevrier ? Pour les points qui vous semblent importants : vous expliquerez pourquoi ils vous paraissent importants et vous formulerez des questions à poser lors de la conférence de Joël Chevrier. 3. Dans un troisième temps, il y aura un temps de discussion en classe entière où les élèves se mettront d'accord sur les questions à poser à Joël Chevrier. *Distribution de leurs feuilles de notes de la séance 2, d'un exemplaire par personne de la synthèse réalisée à partir des présentations et d'une fiche "points importants et questions à poser" par groupe de 3*

Phase 1 : lecture individuelle, discussion des modifications en petits groupes et préparation des questions	45 min	– Explicitation des consignes - Les élèves reçoivent en même temps que la synthèse de leurs présentations une fiche "*points importants et questions à poser*". *(Lecture ensemble)* - Insister sur le fait : Qu'on demande aux élèves de bien justifier les modifications qu'ils veulent apporter à la synthèse. De cette synthèse, on tirera un "cahier d'acteur de la classe". Que pour les questions, on demande aux élèves de formuler des phrases en français, pas des bribes de phrase. Tout à l'heure ils proposeront leur question aux autres et on leur demandera d'expliquer leur choix de question. - Insister sur les contraintes horaires. Les élèves ont jusqu'à la fin de l'heure pour pour prendre connaissance du cahier d'acteur et réfléchir individuellement puis en groupe aux modifications à apporter. – Travail en petit groupe des élèves
Avant ou pendant la pause		*L'enseignant récupère et note les questions des élèves sur diapositive.*
		Pour la discussion, changement de salle : les élèves vont dans une autre salle où les tables sont disposées en U. *Les élèves ayant travaillé ensemble se mettent côte à côte.*

Phase 2 : Discussion collective sur le contenu du cahier d'acteur de la classe et les questions des élèves	30 min	– Objectifs : On a deux objectifs 1. S'entendre sur les modifications à apporter à la synthèse pour en tirer un cahier d'acteur de la classe. 2. S'entendre sur les questions à poser à Joël Chevrier lors de sa venue. – Consignes : pour cela, on va procéder en 2 temps. 1. On va commencer par les modifications à apporter à la synthèse. Ceux qui ont relevé des points qu'ils souhaitent modifier, lèvent la main. Ils expliquent alors pourquoi ils souhaitent opérer une modification + Ils proposent ensuite leur reformulation. Les autres peuvent ensuite réagir à cette proposition, l'amender, partager leur accord ou leur désaccord. 2. Ensuite, dans un deuxième temps, la discussion portera sur les questions à poser au physicien qui viendra au lycée. – Discussion sur les modifications. Relances : - Tu peux nous expliquer pourquoi tu veux modifier çà ? - Pourquoi ça te semble important ? - Tu peux préciser ta pensée/ les raisons qui te font dire çà ? - Qu'est-ce qui te dérange dans le contenu de ce passage ? - Les autres qu'en pensez-vous ? Ça vous convient ? Pourquoi ? – Discussions sur les questions 1. Les questions des élèves sont notées au tableau, sur ppt. (*Questions éventuellement recueillies à la pause).* 2. L'enseignant lit à voix haute les questions. 3. On ne pourra peut-être pas poser toutes ces questions : Il faut donc soit qu'on en supprime, par exemple en les regroupant ; soit qu'on les classe par ordre d'importance pour en poser certaines en priorité. 4. Est-ce qu'il y a des questions que vous metteriez ensemble voir que vous fusionneriez ? Relances : pourquoi ? Tu peux préciser ce qui te fait dire çà ? 5. Ensuite on va classer les questions. Quelqu'un peut se lancer ? Qu'est-ce que vous poseriez comme question en priorité ? Pourquoi ?

Conclusion	5 min	– Temps de discussion libre où les élèves peuvent dire ce qu'ils ont pensé de la séquence. – Leur dire qu'avant la conférence, on prendra un petit temps en classe pour qu'ils se rafraichissent la mémoire avant de poser leurs questions.

On vient de vous distribuer une synthèse reprenant le contenu de vos présentations de mardi dernier. On veut qu'à partir de cette synthèse vous formuliez des questions à poser lors d'une conférence sur les nanotechnologies qui sera donnée en avril au lycée par Joël Chevrier, physicien et professeur à l'Université Joseph Fourier.

Pour cela,

1. vous lirez individuellement ce document ;
2. vous identifierez ensuite
   - s'il y a des points que vous souhaitez modifier dans cette synthèse ;
   - quels sont les points qui vous semblent les plus importants et sur lesquels vous souhaitez poser des questions.

   Vous y réfléchirez d'abord individuellement pendant quelques minutes avant d'en discuter en petit groupe et de remplir de cette fiche.
3. Vous formulerez ensuite une seule question par groupe sur l'un des points importants.

Points à modifier

Pour chaque point à modifier, vous proposerez systématiquement une reformulation de la phrase ou du passage qui vous posent problème.

- Raisons justifiant cette modification :

  Nouvelle formulation :

- Raisons justifiant cette modification :

  Nouvelle formulation :

- Raisons justifiant cette modification :

  Nouvelle formulation :

Points importants

Points qui vous semblent les plus importants dans cette synthèse :	Pourquoi pensez vous que ces points sont les plus importants ?

Question portant sur l'un des points importants, à poser lors de la conférence

Vous soignerez la formulation de votre question. Cette question sera ensuite proposée au reste de la classe.

1 Questions sanitaires et environnementales soulevées par les développements des nanotechnologies

Qu'est-ce qu'une nanoparticule, un nanomatériau ?

- Les nanoparticules sont des particules ultra fines de taille comprise entre 1 et 100 nm [1].
- Les nanomatériaux sont composés de nanoparticules. Contrairement aux particules très fines naturelles ou issues de la combustion, ils sont intentionnellement fabriqués par l'homme. Les nanomatériaux peuvent être des métaux, des céramiques, des carbones, des polymères [2]...

Que sait-on des risques sanitaires et environnementaux liés à l'utilisation de nanoparticules et des nanomatériaux ?

- Les nanomatériaux sont néfastes en fonction de leur taille, de leur forme, de leur nature.
- On ne connaît pas exactement quels sont leurs risques sur la santé et sur l'environnement.
  - Il semble cependant que certaines nanoparticules auraient des effets néfastes sur le corps, par inhalation, par contact ou par ingestion.
  - Concernant l'environnement, certaines nanoparticules présentes dans les cosmétiques (plus particulièrement des nanoparticules de dioxyde de titane, TiO_2 utilisé notamment dans les crèmes solaires) seraient par exemple capables d'éliminer des micro-organismes qui jouent un rôle vital dans les éco-systèmes [3].
- Des recherches ont toujours lieu partout dans le monde pour en savoir plus [4].

Quelles sont les réglementations existantes encadrant l'utilisation et la commercialisation des produits contenant des nanoparticules ?

- Dans de très nombreux pays, il n'y a pas de réglementation sur l'utilisation et la commercialisation des produits contenant des nanoparticules. [5]
- Plusieurs initiatives ont été mises en place pour tenter d'encadrer l'utilisation des nanoparticules.
  - En 2006, il y a eu la création d'un groupe de veille sur les impacts sanitaires liés aux nanotechnologies sous l'égide du haut conseil de la santé publique.
  - Dans le cadre du grenelle de l'environnement, il y a eu un projet de loi pour tracer les nanomatériaux en contraignant les producteurs ou importateurs à déclarer les nanoparticules qu'ils utilisent.
  - L'OCDE, l'Organisation de Coopération et de Développement Économique veut financer des tests pour déterminer la toxicité des nanomatériaux. L'analyse de 14 nanoparticules sera financée notamment par des pays de l'OCDE, le programme des nations unies pour l'environnement et les industriels.
    Pour chaque nanoparticule, il faudra 60 tests et 2 millions d'euros. [6]

1. Source : Consoglobe, site internet d'information sur "la consommation responsable" rédigé par une équipe de 12 personnes, revendiquant leur indépendance, http ://www.encyclo-ecolo.com/Nanoparticules, consulté le 31/01/2012
2. *Source :* Actu-Environnement.com, site d'information de Cogiterra, entreprise privée de presse indépendante, www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/nanomateriaux.php4 consulté le 31/01/12
3. Source : Consoglobe, citant une étude de l'Université de Toledo (Ohio) http ://www.consoglobe.com/nanoparticules-cosmetiques-danger-3857-cg, consulté le 31/01/2012
4. Idem 1
5. *Source* : Novéthic, filiale de la caisse des dépôts qui se présente comme un média sur le développement durable et un centre de recherche sur l'investissement socialement responsable. http ://www.novethic.fr/novethic/entreprise/impact_local/sante/nanoparticules_comment_reglementer_risques/118833.jsp consulté le 31/01/2012
6. Idem 5

Point de vue sur les questions sanitaires et environnementales soulevées par les développements des nanotechnologies

- Il faut continuer les recherches pour connaître les dangers des nanoparticules sur la santé et sur l'environnement.
- Il faut bien réglementer l'utilisation et la commercialisation des produits contenant des nanoparticules, car on ne connaît pas leurs effets éventuellement néfastes sur l'homme ou l'environnement. Il faudrait notamment savoir dans quel objet il y a des nanoparticules et ne pas forcément les mettre dans le commerce.

2 Questions soulevées par les utilisations en médecine des nanotechnologies

Quelles sont les perspectives ouvertes par l'utilisation des nanotechnologies en médecine ?

- L'utilisation des nanotechnologies en médecine pourrait permettre :
  - un meilleur acheminement des médicaments aux cellules [7]
  - de contribuer à lutter contre certains cancers : des nanoballes ont été mises au point et sont capables de cibler et détruire les tumeurs pour des cancers inopérables. Dans un document produit par René Trégouët, Sénateur du Rhône et publié sur son site, on peut ainsi lire :

    > *Ces nanoballes sont constituées de petites particules de silice d'un diamètre de 110 nm, recouvertes d'une couche d'or d'épaisseur 10 nm s'échauffant quand une lumière se situant dans l'infrarouge proche est envoyée sur les particules, détruisant les cellules cancéreuses à proximité. Les chercheurs ont réussi à fabriquer des nanoballes capables de cibler les tumeurs et à lier ces nanoballes à des anticorps qui se fixent uniquement aux cellules cancéreuses.* [8]

  - Sur ce même site, on peut lire que les nanotubes de carbone peuvent aussi être utilisés pour pénétrer à l'intérieur du noyau des cellules et y livrer médicaments et vaccins. Il est aussi écrit qu'ils pourraient un jour être utilisés pour modifier précisément l'ADN d'une cellule.
  - On parle aussi d'utiliser les nanotechnologies pour réparer des cellules du corps humain, comme celles de la peau, des vaisseaux ou du cerveau... [9]

Qu'est-ce que la NBIC ?

- La convergence NBIC, c'est un carrefour de domaines entre les nanotechnologies, les biotechnologies, l'informatique et les sciences cognitives.

Quelles sont les interrogations suscitées par les différentes utilisations des nanotechnologies en médecine ?

- L'utilisation de nanoparticules peut occasionner plusieurs risques pour la santé notamment.

Point de vue sur les utilisations en médecine des nanotechnologies :

- D'un côté on a quelque chose de bénéfique pour la médecine. Par exemple, cela peut ouvrir de nouvelles pistes pour soigner des cancers.

7. Source : site sagascience du CNRS, Centre National de Recherche Scientifique http ://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosnano/decouv/03/03_0/00_1.htm consulté le 31/01/12
8. http ://www.rtflash.fr/nanotechnologies-prochaine-revolution-medecine/article consulté le 31/01/2012
9. Source : idem 7

– D'un autre côté, comme c'est quelque chose de nouveau et qu'on ne connaît pas les risques potentiels des nanoparticules pour la santé. Il faudrait donc avoir plus de recul.

3 Nanotechnologies et protection des libertés

Qu'est-ce que c'est qu'un RFID et quel est le rapport entre les RFID et les nanotechnologies ?

- Un RFID (pour Radio Frequency Identification), c'est une étiquette, avec une puce et une antenne [10].
- La puce contient des données et elle peut par exemple être rajoutée sur un objet et contenir des données sur cet objet. Ces données peuvent être lues à distance grâce à un signal radio. Ainsi, on peut par exemple connaître la position de l'objet ou d'autres données [11].
- Il y a deux catégories de puces RFID :
  - une puce active qui est dotée d'une alimentation, donc qui peut émettre plus loin.
  - une puce passive qui fonctionne grâce à l'énergie reçue lors de l'émission des ondes radio pour interroger la puce. Les puces passives peuvent émettre à plus courte distance.
- Les nanotechnologies permettent de miniaturiser ces dispositifs.

Pourquoi certains acteurs critiquent-ils l'utilisation de dispositifs d'identification ou de recueil d'informations miniaturisés ?

- Pour la Fondation Sciences Citoyennes, l'utilisation des RFID peut porter atteinte aux libertés individuelles et cela soulève des questions relatives à l'accès à des informations personnelles [12].
- La CNIL dénonce aussi les possibilités de traçage que permettent les RFID. Pour la CNIL, les dispositifs actuels ne nous permettent pas de savoir si un mouchard est présent ou non dans un dispositif informatique [13].
- Un article du site Bastamag [14] rapporte qu'au Japon, des parents mettent des puces sur les habits de leurs enfants pour savoir si ils sont bien allés à l'école. Par conséquent pour l'auteur de l'article, on peut se poser des questions : ces dispositifs pourraient servir à tracer les gens.
- Sur Wikipédia, il est aussi rapporté qu'à Barcelone, certains clients d'une boîte de nuit ont des puces RFID implantées dans la peau. Ainsi ils payent grâce à leur puce qui contient des informations bancaires. Cela pourrait donc poser des questions de confidentialité pour les données par exemple les données bancaires.
- On peut aussi lire sur Wikipédia que certaines personnes pourraient utiliser les informations contenues par les marqueurs de passeports pour agresser sélectivement les personnes.
- Enfin, sur cette encyclopédie en ligne mais aussi sur un dossier réalisé par des élèves de master de l'université de Picardie [15], on peut lire que les RFID pourraient peut-être créer des perturbations sur les équipements de santé, mais aussi sur l'organisme.

Quelles sont les questions que pose l'utilisation des RFID en matière de protection des données transmises ?

- D'après le site rfidfr.org, tout le monde peut lire les informations d'une RFID. Il suffit juste d'avoir un émetteur d'ondes radio pour prélever les informations. Il n'y a donc aucune

10. *Source :* rfidfr.org qui se présente comme le portail francophone de la technologie RFID http ://www.rfidfr.org/presentation-rfid.php ainsi que wikipédia : http ://fr.wikipedia.org/wiki/Radio-identification, consulté le 31/01/2012.
11. *Source :* idem 10
12. Source : http ://sciencescitoyennes.org/letiquetage-biometrique-des-individus/ Consulté le 31/01/2012
13. idem 12
14. http ://www.bastamag.net/spip.php ?page=imprimer&id_article=768
15. www.insset.u-picardie.fr/file/rapport_sdl/RFID.pdf lien consulté le 31/01/2012

protection des données, si tout le monde peut les lire.
- Sur le site de Bastamag, l'auteur d'un article affirme que quand ces RFID seront généralisées, elles pourront servir à tracer toutes les personnes et tous les objets.
- Enfin l'article de Wikipédia raconte qu'un groupe de hackers à New York a prétendu avoir clôné les identifications d'une puce RFID implantable sous la peau à cause d'une sécurité trop souple.

Point de vue sur les interrogations posées par les nanotechnologies sur la protection des libertés

- Ces RFID peuvent être une bonne chose, par exemple pour marquer et tracer des colis ou des objets précieux ou encore pour remplacer tout ce qui est papier d'identité, passeport. Cela pourrait permettre d'éliminer tout ce qui est perte, vol ou fraude.
- Cela peut cependant être dangereux si on les utilise aussi pour l'homme. En permettant de tracer tout le monde, leur utilisation peut atteindre aux libertés de chacun.
- Il pourrait y avoir des risques pour la santé pour les puces implantées sous la peau.
- Enfin, il faut revoir tout ce qui est sécurité des données confidentielles afin qu'aucun hacker ne puisse pirater ces puces.

4 Les questions que posent les développements des nanotechnologies à nos démocraties

Quels sont les arguments en faveur de la démocratisation des choix scientifiques et technologiques en matière de nanotechnologies ?

- Selon Jacques Testart de la Fondation Sciences Citoyennes, pour permettre le développement des nanotechnologies, il faut permettre à la société de donner son propre avis. En effet, les citoyens sont au cœur du débat puisque ce sont eux qui en subiront les conséquences [16] notamment sur leur santé ou sur l'environnement.
- De plus à l'heure actuelle, selon le cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes [17], les citoyens n'ont pas de pouvoir d'action sur le développement des nanotechnologies. Pour être dans un système vraiment démocratique, il faudrait que les citoyens puissent s'exprimer sur les nanotechnologies.

Quels sont les défis que posent les nanotechnologies à nos démocraties ?

- Dans une démocratie, la population a le droit de s'exprimer. Cependant, selon la fondation Sciences Citoyennes [18], il est difficile de savoir ce que pensent tous les individus parce que généralement la population n'a pas assez de renseignements sur ces nanotechnologies et parce que les gens ne connaissent pas les risques qu'elles peuvent engendrer.
- D'après le cahier d'acteurs de l'association Sciences et Démocratie [19], des centaines de produits "dopés aux nanotechnologies" sont utilisés bien qu'on ne connaisse pas leurs risques.

Quelles sont les critiques qui ont déjà été formulées à l'encontre des procédures de consultation des citoyens qui ont été mises en place jusqu'à aujourd'hui ?

- En 2009, il y a eu des débats organisés par le gouvernement pour demander l'avis de la population, mais d'après Jacques Testart de la Fondation Sciences Citoyennes, le gouver-

16. http ://sciencescitoyennes.org/technoscience-et-democratie-procedures-participatives-et-nanotechnologies/ Document consulté le 31/01/2012
17. Document disponible à l'adresse http ://debatpublic-nano.org/documents/liste-cahier-acteurs.html ?id_document=160, consulté le 31/01/2012
18. idem 16
19. Document disponible à l'adresse http ://debatpublic-nano.org/documents/liste-cahier-acteurs.html ?id_document=303, consulté le 31/01/2012

nement est déjà arrivé avec l'idée de doubler le budget et c'est ce qu'ils ont fait. Du coup, il n'y a pas vraiment eu de prise en compte de l'avis de la population [20].
- Jacques Testart de la Fondation Sciences Citoyennes estime aussi que les débats ne sont pas neutres et objectifs car il n'y a pas le même temps de parole pour tous et que le nombre de participants n'est pas assez élevé. Par conséquent, ces débats ne sont pas très représentatifs.
- Enfin, selon la Fondation Sciences Citoyennes, comme la population n'est pas assez informée, elle ne peut pas vraiment avoir et donner son propre avis dans ces débats.

Point de vue sur les interrogations posées par les nanotechnologies à nos démocraties

- C'est important de connaître l'avis des citoyens parce qu'en tant que citoyens nous sommes les premiers concernés. C'est aussi important pour les futurs consommateurs.
- Il est important que soit mis en place un étiquetage des produits qui contiennent des nanotechnologies afin d'informer les consommateurs des risques et de la présence de nanoparticules. Ainsi, le consommateur pourra lui-même choisir ou non d'acheter les produits qui en contiennent. Il faut donc qu'il y ait une réglementation, que ce soit obligé d'afficher la présence de nanoparticules dans les produits.
- Il faudrait renforcer les recherches sur les risques et la sécurité des nanotechnologies parce qu'on ne sait pas encore ce qu'ils peuvent provoquer sur la santé des individus. Comme cela était mentionné sur le site de Sciences et Démocratie, il faut faire passer la santé de l'Homme avant le développement des nanotechnologies.

5 Les enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies

Quels sont les secteurs industriels concernés ?

- Les nanotechnologies pourraient avoir des applications
  - dans le secteur de l'électronique pour des moyens de communication universels et plus rapides,
  - dans le secteur pharmaceutique avec les médicaments efficaces et ciblés,
  - dans le secteur des cosmétiques,
  - en chimie,
  - pour les transports, avec par exemple, une réduction du poids des automobiles,
  - dans le secteur de la construction, pour des matériaux économes et performants,
  - dans le secteur des caoutchoucs pour les pneumatiques,
  - dans le secteur aéronautique et spatial,
  - dans le domaine de l'énergie. [21]

  Elles sont utilisées pour les technologies de l'information (accroissement des possibilités de stockage), pour la santé, les écotechnologies et les technologies de l'énergie. [22]
- Dans certains textes, le terme d'allègement revient souvent et va aussi avec le terme de résistance. On essaie d'allier les deux. On peut ainsi lire que le nanotube de carbone est 100 fois plus léger que l'acier et qu'il est 10 fois plus résistant [23].
- D'après Wikipédia [24] en l'an 2000, l'armée française avait aussi déjà fait des projets de missiles intelligents, de micro drones, d'armes chimiques.

20. idem 16
21. Sources : http ://www.industrie.gouv.fr/enjeux/pdf/synthesenanomateriaux.pdf, http ://www.industrie.gouv.fr/enjeux/definition.html et http ://www.ultraproprete.com/dossiers-techniques/evolutions-sectorielles/nanotechnologies.html consulté le 31/01/2012
22. Source : http ://www.economie.gouv.fr/cedef/dossier-documentaire-nanotechnologies consulté le 31/01/2012
23. http ://www.ultraproprete.com/dossiers-techniques/evolutions-sectorielles/nanotechnologies.html consulté le 31/01/2012
24. http ://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9bat_sur_les_nanotechnologies consulté le 31/01/2012

– Par ailleurs, toujours d'après Wikipédia [25], il y a moins de 5% du budget alloué aux nanotechnologies qui est consacré à l'évaluation des risques.

Quelles sont les retombées attendues des nanotechnologies en matière économique et sociale ?

– Les nanotechnologies pourraient permettre d'améliorer la santé humaine, par exemple grâce à l'utilisation de biopuces ou de biocapteurs. Elles pourraient contribuer à la société de l'information (ordinateurs plus puissants, appareils électroménagers...) [26]. Ces applications pourraient accroître le confort personnel des individus.
– Sur le site du ministère de l'économie, on peut lire que les développements des nanotechnologies vont générer de l'emploi [27].
– Sur le site du ministère de l'industrie [28], il est aussi écrit que le marché mondial des nanotechnologies représentait 1000 milliards d'euros en 2010 et que c'est l'un des moteurs de la prochaine révolution industrielle.
– Sur Wikipédia, on peut enfin lire que des gens se posent des questions sur le devenir de la nanotechnologie : est-ce que plus tard il pourrait y avoir des mutations, des hommes remplacés par des robots [29] ?

Quelles sont les questions que posent les développements des nanotechnologies en matière économique et sociale ?

– D'après un document trouvé sur le site du ministère de l'économie [30], les nanotechnologies posent des questions sanitaires, éthiques, mais aussi des questions relatives à la gestion des risques industriels.
– Enfin d'après Wikipédia [31], il y a toujours un grand débat sur les risques pour l'homme, un débat sur l'éthique, un débat sur la vie privée notamment avec le traçage. Enfin, sur wikipédia on peut lire aussi que les nanotechnologies pourraient être un nouvel avatar de la course aux armements.

Point de vue sur les aspects économiques et sociaux des développements des nanotechnologies

– Les nanotechnologies présentent des avantages, parce que
  – dans la santé elles pourraient améliorer les diagnostics des médecins, les médicaments.
  – Ensuite pour l'environnement, cela limitera certaines pollutions comme dans les transports.
  – On pourra utiliser des énergies moins polluantes.
  – L'économie française sera boostée (actuellement, d'après le site du ministère de l'économie, la France est le 2ème pays à investir le plus dans les nanotechnologies au niveau européen [32].)

  En ce sens, les nanotechnologies, c'est l'avenir parce que c'est la "troisième révolution industrielle", cela créera des richesses et beaucoup d'emplois.
– Cependant, il faut faire attention aux risques et comme les nanotechnologies coûtent énormément d'argent, il faudrait peut-être en donner plus pour l'évaluation de ces risques. Il ne faut pas aller plus loin sans les connaître et sans les éliminer comme par exemple ceux liés au traçage des individus.

25. idem 24
26. Source : http ://www.ec.europa.eu/research/leaflets/nanotechnology/index_fr.html consulté le 31/01/2012
27. idem 22
28. http ://www.industrie.gouv.fr/enjeux/definition.html consulté le 31/01/2012
29. idem 24
30. idem 22
31. idem 24
32. idem 22

Les RFID peuvent porter atteinte à la vie privée des citoyens... Où s'arrêtera cette atteinte ?	
Pensez vous que les nanotechnologies deviendront indispensables dans l'avenir et serait-il possible de vivre sans aujourd'hui ?	
Pensez-vous que les nanotechnologies se multiplieront et deviendront essentielles dans un avenir proche ?	
Lors que nous sommes venus à Grenoble, vous nous avez vanté les mérites des nanotechnologies mais vous n'avez jamais évoqué les éventuels risques qu'elles peuvent apporter. Avez-vous pris en compte les risques lors de leur développement ?	
Comment les nanotechnologies peuvent-elles limiter la pollution ?	
Est-ce que l'utilisation des nanotechnologies pourra violer la vie privée des individus ?	
Vous qui développez les nanotechnologies, êtes–vous conscient des risques et est-ce que vous les prenez en compte ?	
Les nanotechnologies sont-elles vraiment utiles à l'Homme ?	
Y aura-t-il une forte création d'emplois grâce aux nanotechnologies ?	

FIGURE 15.1 – Questions produites par les élèves par groupes de trois. Les couleurs correspondent aux regroupements entre questions sur des thématiques proches effectués par les élèves lors de la discussion.

Pensez vous que les nanotechnologies se multiplieront et deviendront indispensables dans l'avenir et serait-il possible de vivre sans aujourd'hui ? Et dans l'avenir ?	2
Lors que nous sommes venus à Grenoble, vous nous avez vanté les mérites des nanotechnologies mais vous n'avez jamais évoqué les éventuels risques qu'elles peuvent apporter. Vous qui développez les nanotechnologies, êtes–vous conscient des risques et est-ce que vous les prenez en compte ?	1
Comment les nanotechnologies peuvent-elles limiter la pollution ?	5
Est-ce que l'utilisation des nanotechnologies par exemple des RFID pourrait violer la vie privée des individus ?	3
Les nanotechnologies sont-elles vraiment utiles à l'Homme ?	6
Y aura-t-il une forte création d'emplois grâce aux nanotechnologies ?	4

FIGURE 15.2 – Les couleurs indiquent quelles sont les questions qui ont été retravaillées de manière à regrouper les questions portant sur des thématiques proches. Les numéros de la colonne de droite correspondent à l'ordre dans lequel poser les questions. Cet ordre a été adopté après discussion par la classe.

CAHIER D'ACTEUR SUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA RÉGULATION DES NANOTECHNOLOGIES

L'avis de la classe de première S 10 du lycée Triboulet sur les développements des "nanos"

Au début de l'année 2012, notre classe a effectué plusieurs activités sur le thème des nanotechnologies.

Dans ce qui suit, nous proposons une synthèse des recherches documentaires que nous avons menées sur les questionnements que posent les développements des nanotechnologies et nous exposons aussi nos avis sur ces questions.

Nous aborderons successivement les aspects sanitaires et environnementaux de ces développements, leurs utilisations en médecine. Puis nous reviendrons sur les questions que les nanotechnologies posent en matière de protection des libertés individuelles et sur les questions liées à la gestion démocratique de ces développements. Enfin, nous examinerons les enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies.

Questions sanitaires et environnementales

Les nanoparticules sont des particules ultra fines de taille comprise entre 1 et 100 nm[1]. Les nanomatériaux sont composés de ment fabriqués par l'homme. nanomatériaux peuvent être des mét des céramiques, des carbones, polymères ...[2]

Les nanomatériaux peuvent avoir effets néfastes, fonction de leur taille leur forme, de leur nature.
On ne connaît pas exactement quels leurs risques sur la santé et l'environnement. Il semble cependant certaines nanoparticules auraient effets néfastes sur le corps, par inhalat par contact ou par ingestion.
Concernant l'environnement, certa nanoparticules présentes dans cosmétiques (plus particulièrement nanoparticules de dioxyde de titane, T utilisé notamment dans les crè solaires) seraient par exemple capa d'éliminer des micro-organismes jouent un rôle vital dans les systèmes[3]. Des recherches ont touj lieu partout dans le monde pour en sa plus [4].

[1] Source : Consoglobe, site internet d'information sur consommation responsable " rédigé par une équipe personnes, revendiquant leur indépendance, http://www.encyclo-ecolo.com/Nanoparticules, consult 31/01/2012

[2] Source : Actu-Environnement.com, site d'informati Cogiterra, entreprise privée de presse indépendante, www environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/defini

COORDONNÉES

Classe de 1ère S 10
Cité Scolaire Albert Triboulet
59-61 bd Gambetta
BP 1112
26102 Romans-sur-Isère
Cedex

http://www.ac-grenoble.fr/lycee/triboulet.romans/

Dans de très nombreux pays, il n'y a pas de réglementation sur l'utilisation et la commercialisation des produits contenant des nanoparticules[5].
Plusieurs initiatives ont cependant été mises en place pour tenter d'encadrer l'utilisation des nanoparticules.

- En 2006, il y a eu la création d'un groupe de veille sur les impacts sanitaires liés aux nanotechnologies sous l'égide du haut conseil de la santé publique.
- Dans le cadre du grenelle de l'environnement, il y a eu un projet de loi pour tracer les nanomatériaux en contraignant les producteurs ou importateurs à déclarer les nanoparticules qu'ils utilisent.
- L'OCDE, l'Organisation de Coopération et de Développement Économique veut également financer des tests pour déterminer la toxicité des nanomatériaux. L'analyse de 14 nanoparticules sera financée notamment par des pays de l'OCDE, le programme des nations unies pour l'environnement et les industriels. Pour chaque nanoparticule, il faudra 60 tests et 2 millions d'euros[6].

Selon nous, il faut continuer les recherches pour connaître les dangers des nanoparticules sur la santé et sur l'environnement.
Il faut réglementer l'utilisation et la commercialisation des produits contenant des nanoparticules, car on ne connaît pas leurs effets éventuellement néfastes. Il faudrait notamment savoir dans quel objet il y a des nanoparticules et ne pas forcément les mettre dans le commerce.
Enfin, bien que cet avis ne soit pas unanimement partagé, certains d'entre nous estiment à la suite des Amis de la Terre[7], qu'il faudrait imposer un moratoire sur la recherche et la commercialisation des nanotechnologies, le temps de mieux connaître leurs effets sur la santé et l'environnement.

Les utilisations en médecine des nanotechnologies

L'utilisation des nanotechnologies en médecine pourrait permettre :
- un meilleur acheminement des médicaments aux cellules[8] ;
- de contribuer à lutter contre certains cancers : des nanoballes ont été mises au point et sont ca cibler et détruire les tumeurs pour des inopérables. Dans un document produit Trégouët, Sénateur du Rhône et publié sur on peut ainsi lire :
"Ces nanoballes sont constituées de particules de silice d'un diamètre de recouvertes d'une couche d'or d'épaisseu s'échauffant quand une lumière se situ l'infrarouge proche est envoyée sur les p détruisant les cellules cancéreuses à proxi chercheurs ont réussi à fabriquer des n capables de cibler les tumeurs et à nanoballes à des anticorps qui se fixent un aux cellules cancéreuses."[9]
Sur ce même site, on peut lire aussi nanotubes de carbone peuvent être utili pénétrer à l'intérieur du noyau des cellules médicaments et vaccins. Il est également ces nanotubes pourraient un jour être utili modifier précisément l'ADN d'une cellule.
- Enfin sur le site sagascience du CNRS, on que les nanotechnologies pourraient être pour réparer des cellules du corps humain celles de la peau, des vaisseaux ou du cerve Les nanotechnologies pourraient permet d'augmenter l'espérance de vie.
Les nanotechnologies sont par ailleurs au la NBIC c'est à dire de la convergence Nanotechnologies, les Biotech l'Informatique et les sciences Cognitives.

Enfin, l'utilisation de nanoparticule occasionner plusieurs risques pour notamment.

Aussi selon nous, d'un côté les nanotec sont quelque chose de bénéfique pour la n Par exemple, cela peut ouvrir de nouvell pour soigner des cancers. D'un autre côté c'est quelque chose de nouveau et qu'on n pas les risques potentiels des nanoparticule santé, il faudrait avoir plus de recul.

Protection des libertés

Les nanotechnologies permettent de miniat dispositifs tels que les RFID (Radio F IDentification). Un RFID est une étiquette, puce et une antenne[11]. La puce contient des qui peuvent être lues à distance grâce à radio. Ainsi, on peut par exemple connaître

[5] Source : Novéthic, filiale de la caisse des dépôts qui se présente comme un média sur le développement durable et un centre de recherche sur l'investissement socialement responsable. http://www.novethic.fr/novethic/entreprise/impact_local/sante/nanoparticules_comment_reglementer_risques/

[9] Source : http://www.rtflash.fr/nanotechnologies-prochai

tion de l'objet où on a intégré la puce ou d'autres données.
Il y a deux catégories de puces RFID :
- une puce active qui est dotée d'une alimentation, donc qui peut émettre plus loin.
- une puce passive qui fonctionne grâce à l'énergie reçue lors de l'émission des ondes radio pour interroger la puce. Les puces passives peuvent émettre à plus courte distance.

Pour la Fondation Sciences Citoyennes, l'utilisation des RFID peut porter atteinte aux libertés individuelles et cela soulève des questions relatives à l'accès à des informations personnelles[12]. La Commission Nationale Informatique et liberté (CNIL), qui est l'autorité administrative indépendante chargée de veiller à la protection des libertés et des données personnelles, dénonce aussi les possibilités de traçage que permettent les RFID. Pour la CNIL, les dispositifs actuels ne permettent pas de savoir si un mouchard est présent ou non dans un dispositif informatique[13].
Un article du site Bastamag rapporte qu'au Japon, des parents mettent des puces sur les habits de leurs enfants pour savoir si ils sont bien allés à l'école. Par conséquent pour l'auteur de l'article, ces dispositifs pourraient servir à tracer les gens[14].
Sur Wikipédia, il est aussi rapporté qu'à Barcelone, certains clients d'une boîte de nuit ont des puces RFID implantées dans la peau. Ainsi ils payent grâce à leur puce qui contient des informations bancaires. Cela pourrait donc poser des questions de confidentialité pour les données par exemple les données bancaires.
On peut aussi lire sur Wikipédia que certaines personnes pourraient utiliser les informations contenues par les marqueurs de passeports pour agresser sélectivement les personnes. Enfin, sur cette encyclopédie en ligne mais aussi sur un dossier réalisé par des élèves de master de l'université de Picardie, on peut lire que les RFID pourraient peut-être créer des perturbations sur les équipements de santé, mais aussi sur l'organisme[15].

L'utilisation de ces RFID pose un certain nombre de questions sur la protection des données transmises. Sur le site de Bastamag, l'auteur d'un article affirme que quand ces RFID seront généralisées, elles pourront servir à tracer toutes les personnes et tous les objets. De plus, d'après le site rfidfr.org, tout le monde peut lire les informations d'une RFID. Il suffit d'avoir un émetteur d'ondes radio pour prélever les informations. Enfin l'article de Wikipédia raconte qu'un groupe de hackers à New York a prétendu avoir clôné les identifications d'une puce RFID implantable sous la peau à cause d'une sécurité trop souple.

Selon nous, ces RFID peuvent être une bonne chose, par exemple pour tracer des colis ou des objets précieux ou encore pour remplacer tout ce qui est papier d'identité, passeport. Cela peut cependant être dangereux si on les utilise aussi pour l'homme. En permettant de tracer tout le monde, leur utilisation peut atteindre aux libertés de chacun. Il pourrait de plus y avoir des risques pour la santé pour les puces implantées sous la peau. Enfin, selon nous, il faut revoir tout ce qui est sécurité des données confidentielles afin qu'aucun hacker ne puisse pirater ces puces.

Les questions posées à nos démocraties par le développement des "nanos"

Selon Jacques Testart de la Fondation Sciences Citoyennes, pour permettre le développement des nanotechnologies, il faut permettre à la société de donner son propre avis sur ce sujet. En effet, les citoyens sont au cœur du débat puisque ce sont eux qui en subiront les conséquences notamment sur leur santé ou sur l'environnement[16]. Néanmoins à l'heure actuelle, selon le cahier d'acteurs de la Fondation Sciences Citoyennes, les citoyens n'ont pas de pouvoir d'action sur le développement des nanotechnologies[17].

Les développements des nanotechnologies posent ainsi plusieurs défis à nos démocraties. Dans une démocratie, la population a le droit de s'exprimer. Cependant, selon la fondation Sciences Citoyennes , il est difficile de savoir ce que pensent tous les individus parce que généralement les gens n'ont pas assez de renseignements sur ces nanotechnologies et ne connaissent pas les risques qu'elles peuvent engendrer. De plus, d'après le cahier d'acteurs de l'association Sciences et Démocratie[19], des centaines de produits "dopés aux nanotechnologies" sont ainsi déjà utilisés bien qu'on ne connaisse pas leurs risques.
En 2009, il y a eu des débats organisés par le gou-

[12] Source : http://sciencescitoyennes.org/letiquetage-biometrique-des-individus/ Consulté le 31/01/2012
13 Source : Idem 12
14 Source : http://www.bastamag.net/spip.php?page=imprimer&id_article=768
15 Source : www.insset.u-picardie.fr/file/rapport_sdl/RFID.pdf lien consulté le 31/01/2012

[16] Source : http://sciencescitoyennes.org/technoscience-et-democratie-

vernement pour demander l'avis de la population, mais d'après Jacques Testart de la Fondation Sciences Citoyennes, le gouvernement est déjà arrivé avec l'idée de doubler le budget et c'est ce qu'ils ont fait. Ainsi, il n'y a pas vraiment eu de prise en compte de l'avis de la population.
Jacques Testart de la Fondation Sciences Citoyennes estime aussi que ces débats n'étaient pas neutres et objectifs car il n'y avait pas le même temps de parole pour tous et que le nombre de participants n'était pas assez élevé. Par conséquent, ces débats n'étaient pas très représentatifs. Enfin, selon la Fondation Sciences Citoyennes, comme la population n'était pas assez informée, elle ne pouvait pas vraiment avoir et donner son propre avis dans ces débats[20].

Selon nous, il est important de connaître l'avis des citoyens parce qu'en tant que citoyens nous sommes les premiers concernés. Il nous semble aussi important que soit mis en place un étiquetage obligatoire des produits qui contiennent des nanotechnologies afin d'informer les consommateurs des risques et de la présence de nanoparticules. Le consommateur pourra ainsi lui-même choisir ou non d'acheter les produits qui en contiennent. Enfin, selon nous, il faudrait renforcer les recherches sur les risques et la sécurité des nanotechnologies. Comme cela était mentionné sur le site de Sciences et Démocratie, il faut faire passer la santé de l'Homme avant le développement des nanotechnologies.

Enjeux économiques et sociaux de ces développements

Les nanotechnologies pourraient avoir des applications dans de multiples secteurs (électronique, pharmaceutique, cosmétiques, chimie, transports, construction, matériaux, caoutchoucs pour les pneumatiques, aéronautique et spatial, énergies[21]). Elles sont utilisées pour les technologies de l'information (accroissement des possibilités de stockage), pour la santé, les écotechnologies et les technologies de l'énergie[22].
D'après Wikipédia en l'an 2000, l'armée française avait aussi déjà fait des projets de missiles intelligents, de micro drones, d'armes chimiques[23].
Dans certains textes, le terme d'allègement revient souvent et va avec le terme de résistance. On essaie d'allier les deux. On peut ainsi lire que le nanotube de carbone est 100 fois plus lé l'acier et qu'il est 6 fois plus résistant[24].

En matière économique et social nanotechnologies pourraient permettre d'ar la santé humaine et contribuer à la soc l'information (ordinateurs plus puissants, a électroménagers...). Ces applications po ainsi accroître le confort personnel des in Sur le site du ministère de l'économie, aussi lire que les développement nanotechnologies vont générer de l'emploi. Par ailleurs, sur le site du ministère de l'ir il est écrit que le marché mondi nanotechnologies représentait 1000 n d'euros en 2010 et que c'est l'un des moteu prochaine révolution industrielle. Sur le ministère de l'économie, un autre chi avancé : ils parlent d'un marché monc nanotechnologies en 2008 de 500 milli dollars et estiment que ce chiffre pourrait en 2015.

Ces développements suscitent toutefo questions. Sur Wikipédia, on peut enfin des gens s'interrogent sur le devenir nanotechnologie : est-ce que plus tard il pc avoir des mutations, des hommes rempla des robots ? D'après un document trouvé su du ministère de l'économie, les nanotechr posent des questions sanitaires, éthique aussi des questions relatives à la gesti risques industriels. Wikipédia mentionn qu'il y a toujours un grand débat sur les pour l'homme, sur l'éthique, sur la vie notamment avec le traçage. Par ailleurs, cette encyclopédie moins de 5% du budge aux nanotechnologies est consacré à l'éva des risques. Enfin, sur cette encyclopédie lire que les nanotechnologies pourraient nouvel avatar de la course aux armements.

Finalement, selon nous les nanotechr présentent des avantages (amélioratic diagnostics, des médicaments ; limitat certaines pollutions comme dans les trar L'économie française sera boostée (actue d'après le site du ministère de l'econo France est le 2ème pays à investir le plus nanotechnologies au niveau européen). En les nanotechnologies, c'est l'avenir car "troisième révolution industrielle", cela cr richesses et beaucoup d'emplois. Cependan selon nous faire attention aux risques et cor nanotechnologies coûtent énormément d'a

[20] : Source : idem 16
[21] Sources : http://www.industrie.gouv.fr/enjeux/pdf/synthesenanomateriaux.pdf, http://www.industrie.gouv.fr/enjeux/

Chapitre 16

Préparation des interventions des élèves pendant la “conférence”

Dans cette annexe sont rassemblés tous les documents qui ont été fournis aux élèves pour préparer leurs interventions lors de la “conférence”. Sont donc présentés :

- Les fiches de consignes distribuées à chaque groupe d’élèves (la classe a été scindée en 4 groupes).
- Les diapositives qui devaient leur servir de trame pour leur intervention. Ces diapositives ont été projetées le jour de la “conférence”.

Les élèves disposaient aussi du cahier d’acteur de la classe (présenté à l’annexe15) qui leur avait été distribué bien auparavant (fin mars) et qu’ils devaient relire avant la séance.

Documents distribués au groupe d'élèves chargé de présenter globalement le cahier d'acteur de la classe

Fiche 1 — Préparation des interventions du 14 mai

Objectif de la séance : Préparer la première partie de la "conférence" du 14 mai.

Ce jour-là un représentant de la classe devra pendant *5 minutes* :

- présenter brièvement les activités auxquelles vous avez participées (en classe et à Nano@school)
- **présenter le contenu du cahier d'acteurs de la classe**
- présenter brièvement le déroulement de la conférence

Cette intervention devra être suffisamment claire pour que le public de la conférence qui n'aura fait **aucune** activité sur les nanotechnologies comprenne votre discours.

Pour préparer cette intervention, vous travaillerez à partir des diapositives qu'on vous a distribuées.
En vous appuyant sur le cahier d'acteurs de la classe

- Vous pouvez proposer des modifications ou des ajouts à ces diapositives.
- Vous devez définir exactement ce que vous allez dire à l'oral.

Construction d'un « cahier d'acteurs »

Plusieurs activités sur les nanotechnologies

- En classe :
  - Travail sur des documents produits pour un débat public national sur les développements des nanotechnologies : « Les cahiers d'acteurs »
  - Recherches documentaires qui ont abouti à la construction d'un « cahier d'acteurs de la classe »
- A Grenoble :
  - Participation aux ateliers « Nano@school » sur
    - La microélectronique
    - Les microscopies
    - Les accéléromètres du type de ceux qu'on trouve dans les smartphones ...

Présentation du « cahier d'acteurs »

5 thèmes développés

- Les questions posées par l'utilisation de nanoparticules du fait de leurs effets possibles sur la santé et l'environnement
- Les utilisations en médecine des nanotechnologies
- Les questions posées par les nanotechnologies sur la protection des libertés des individus
- La manière dont on peut, en démocratie, développer les nanotechnologies
- Les enjeux économiques et sociaux des développements des nanotechnologies

Aujourd'hui

La conférence va être organisée sous forme d'une discussion :

- Nous allons revenir sur certains des thèmes développés dans notre cahier d'acteurs
- Ces thèmes nous ont conduits à soulever certaines interrogations que nous souhaiterions discuter avec Monsieur Chevrier, physicien de l'université Joseph Fourier de Grenoble

Objectif de la séance : Préparer la deuxième des quatre interventions du 14 mai.

Ce jour-là un représentant de la classe devra pendant *5 minutes* **présenter le contenu du cahier d'acteurs de la classe sur le thème des questions sanitaires et environnementales** soulevées par les développements des nanotechnologies.

Cette présentation vous permettra d'aboutir à l'interrogation que vous aviez formulée le 6 février :

> *"Lors que nous sommes venus à Grenoble, vous nous avez vanté les mérites des nanotechnologies mais vous n'avez jamais évoqué les éventuels risques qu'elles peuvent apporter. Vous qui développez les nanotechnologies, êtes-vous conscient des risques et est-ce que vous les prenez en compte ?"*

Votre intervention devra être suffisamment claire pour que le public de la conférence qui n'aura fait **aucune** activité sur les nanotechnologies comprenne votre discours.

Pour préparer cette intervention, vous travaillerez à partir de la diapositive qu'on vous a distribuée.
En vous appuyant sur le cahier d'acteurs de la classe

- Vous pouvez proposer des modifications ou des ajouts à cette diapositive.
- Vous devez définir exactement ce que vous allez dire à l'oral.

Thème 1 : Questions sanitaires et environnementales

- Nanoparticules ? Nanomatériaux ?
- Des effets pour la santé et l'environnement mal connus
- Des résultats d'études qui pointent des effets néfastes (ex : une étude sur le nano-TiO_2 menée par une équipe de l'Université de l'Ohio citée sur le site d'information Consoglobe)
- Dans de nombreux pays, pas de réglementation sur l'utilisation et la commercialisation des produits contenant des nanoparticules.

Objectif de la séance : Préparer la troisième des quatre interventions du 14 mai.

Ce jour-là un représentant de la classe devra pendant *5 minutes* **présenter le contenu du cahier d'acteurs de la classe** pour mettre en perspective votre interrogation sur le caractère indispensable ou non des nanotechnologies.

Cette présentation vous permettra d'aboutir à l'interrogation que vous aviez formulée le 6 février :

> *"Pensez-vous que les nanotechnologies se multiplieront et deviendront indispensables dans l'avenir et serait-il possible de vivre sans aujourd'hui ? Et dans l'avenir ?"*

Votre intervention devra être suffisamment claire pour que le public de la conférence qui n'aura fait **aucune** activité sur les nanotechnologies comprenne votre discours.

Pour préparer cette intervention, vous travaillerez à partir de la diapositive qu'on vous a distribuée.
En vous appuyant sur le cahier d'acteurs de la classe

- Vous pouvez proposer des modifications ou des ajouts à cette diapositive.
- Vous devez définir exactement ce que vous allez dire à l'oral.

Thème 2 : Des nanotechnologies indispensables ?

- Des applications dans de nombreux secteurs
- Des perspectives d'emplois et des marchés de plusieurs milliards d'euros d'après les ministères de l'industrie et de l'économie
- Des investissements importants

  (la France était le 2ème pays à investir le plus dans les nanos en Europe d'après un document du site du ministère de l'économie)
- De nombreuses interrogations soulevées par les nanotechnologies qui concernent tous les citoyens

  Risques, questionnements éthiques, hommes remplacés par des robots, protection de la vie privée...
- Quelles priorités de recherches ?

Objectif de la séance : Préparer la dernière des quatre interventions du 14 mai.

Ce jour-là un représentant de la classe devra pendant *5 minutes* **présenter le contenu du cahier d'acteurs de la classe sur les questions de protection des libertés** soulevées par les développements des nanotechnologies.

Cette présentation vous permettra d'aboutir à l'interrogation que vous aviez formulée le 6 février :

> *"Est-ce que l'utilisation des nanotechnologies par exemple des RFID pourrait violer la vie privée des individus ?"*

Votre intervention devra être suffisamment claire pour que le public de la conférence qui n'aura fait **aucune** activité sur les nanotechnologies comprenne votre discours.

Pour préparer cette intervention, vous travaillerez à partir de la diapositive qu'on vous a distribuée.
En vous appuyant sur le cahier d'acteurs de la classe

- Vous pouvez proposer des modifications ou des ajouts à cette diapositive.
- Vous devez définir exactement ce que vous allez dire à l'oral.

Thème 3 : Protection des libertés et de la vie privée

- Les nanotechnologies permettent de miniaturiser des dispositifs communicants tels que les RFID.
- La CNIL met en garde contre les possibilités de traçage permises par ces dispositifs ;

  Plusieurs organisations soulignent les questions que pose leur utilisation pour la protection des libertés individuelles.
- L'utilisation massive de ces dispositifs pose aussi des questions sur leur sécurité et sur la protection des données transmises.

Chapitre 17

Retour sur l'influence de Nano@school

Les résultats que nous avons produits sont le fruit d'un cheminement de trois ans où nous avons travaillé avec plusieurs enseignants et nos encadrants. Nous voudrions revenir ici sur la manière dont nous avons "intéressé" des enseignants avec qui collaborer mais aussi sur l'émergence de nouvelles pratiques que notre dispositif a pu contribuer à favoriser.

Comme nous l'avons indiqué au chapitre 5, nous avons fait le choix de travailler avec des enseignants dont les classes participaient à Nano@school. Ce choix a eu des répercussions sur la mise en œuvre d'un processus de co-construction d'une séquence pédagogique sur les controverses soulevées par les nanotechnologies. Cela a en effet fait peser sur notre dispositif une série de contraintes se sur-ajoutant à celles pesant sur tout travail empirique.

D'abord cela a compliqué la relation avec les deux premiers enseignants avec qui nous avons travaillé, celui de Grenoble et celui d'Annecy.

Ensuite, cela a ajouté des contraintes d'emploi du temps pour organiser les différentes activités en classe et les discussions entre les séances avec les différents acteurs du projet.

17.1 Les obstacles à la co-construction d'un dispositif avec les enseignants

En choisissant de travailler avec des enseignants dont les classes viendraient à Nano@school, nous espérions pouvoir obtenir la liste des participants et contacter librement les professeurs pour leur proposer de collaborer avec nous. Toutefois, les noms des enseignants sélectionnés pour prendre part à ces ateliers ne nous ont été fournis que tardivement et l'inspectrice d'académie qui participait à la mise sur pied de Nano@school, souhaitait que nous travaillions avec certains professeurs en particulier. Elle nous a ainsi aiguillés vers deux enseignants.

Parmi eux, l'un endossait déjà un rôle actif dans la préparation de documents pédagogiques destinés à ses collègues venant à Nano@school. Ces documents étaient centrés sur des contenus scientifiques développés aux seins des ateliers. Lui demander de s'investir dans la co-construction d'une séquence sur les controverses socioscientifiques soulevées par les nanotechnologies nous amenait donc à le solliciter pour qu'il passe du temps sur un autre projet pensé indépendamment du premier. Nous avons alors choisi de construire sans lui et avec nos encadrants, l'essentiel de la séance de jeu de rôle mise en place dans sa classe.

L'autre enseignant que l'inspectrice souhaitait nous voir contacter n'était en revanche pas impliqué dans la conception de matériel pédagogique pour Nano@school. Il travaillait dans un lycée d'Annecy et souhaitait juste que sa classe puisse prendre part à ses ateliers. Tout au long de notre collaboration, nous avons rencontré des difficultés à fixer des rendez-vous avec lui. Ainsi, alors que nous avions pris contact très tôt dans l'année avec lui, cet enseignant a parfois été dans l'impossibilité de libérer des temps de discussion aux moments stratégiques,

ce qui aurait pourtant peut-être permis qu'il ait un poids réel dans l'élaboration des différentes interventions.

Cet enseignant s'est ainsi peut-être retrouvé associé à notre recherche sans avoir vraisemblablement mesuré l'implication que cela demandait et sans disposer d'autant de temps à nous consacrer.

De plus, cet enseignant n'a pas voulu mettre en place dans sa classe la dernière activité de discussion d'un cahier d'acteur. La séance, programmée juste après les vacances de Pâques a donc été annulée. L'enseignant nous a en effet expliqué que les contraintes d'emploi du temps pesant sur lui pour "boucler le programme" étaient trop lourdes pour pouvoir dégager de nouvelles heures et mettre en place cette séance dans sa classe.

On peut toutefois s'interroger sur l'adhésion de cet enseignant au projet que nous proposions. Il n'est en effet pas exclu qu'il ait accepté de travailler avec nous en partie parce que sa hiérarchie l'y incitait.

La défection de cet enseignant vis-à-vis de notre dispositif peut aussi être mises en regard avec ce qu'ont montré certaines recherches sur les intentions et les pratiques d'enseignants pour prendre en charge dans leur classe des questions socioscientifiques controversées [1].

Dans une recherche visant à cerner au travers d'entretiens quels sont les éléments qui pèsent sur les pratiques d'enseignants de sciences français de l'enseignement agricole, Albe et Ruel (2008) soulignent la primauté accordée à l'appropriation de savoirs scientifiques. Les enseignants interrogés mettent en avant un certain nombre de contraintes qui selon eux entravent la mise en place d'enseignement des sciences dans une perspective citoyenne. Ils citent la nécessité d'être neutre par rapport aux orientations des programmes, le programme conséquent qui doit être traité, le manque de temps, le manque d'intérêt des élèves et le poids de l'évaluation vue comme un outil pour pousser les élèves à s'investir et travailler.

Ce type de résultats se retrouve dans des recherches plus anciennes ou menées dans des pays différents. En 1989, un article publié par Mitchener et Anderson traitant de la mise en œuvre de curricula marqué par le mouvement STS faisait ressortir trois profils d'enseignants. Le premier groupe d'enseignants mettaient en place ces enseignements en considérant qu'ils participaient à mieux connecter les sciences au quotidien des élèves. Le deuxième groupe étaient réticents à l'égard des approches "STS" et estimaient que ce qu'on leur demandait d'enseigner relevait en grande partie des sciences sociales et non des sciences qu'on doit apprendre à l'école. Enfin, un troisième groupe soulignaient que les contraintes d'emplois du temps étaient un obstacle à la mise en place d'un tel curriculum.

De leur côté, Lee *et al.* (2006) se sont intéressés d'une part à la perception par des enseignants coréens de l'introduction de questions socioscientifiques dans les curricula et d'autre part aux facteurs susceptibles d'entraver ou de favoriser la prise en charge de ces questions en classe. En utilisant des questionnaires puis des entretiens, ils ont trouvé qu'en dépit de la nécessité affirmée par les différents participants de proposer aux élèves de s'emparer de questions socioscientifiques en classe de sciences, seul un petit nombre d'entre eux avait mis en place des activités sur ce genre de questions.

Par ailleurs dans cette recherche, les enseignants évoquent le manque de connaissances nécessaires et l'absence de matériels pédagogique à disposition pour traiter de questions controversées. Ils pointent aussi le temps indispensable pour préparer des enseignements sans ressources pédagogiques déjà toutes prêtes. Ils mentionnent également la difficulté à renouveler leurs pratiques pour passer d'un enseignement frontal "traditionnel" à des approches laissant une large place à la discussion. Enfin Lee *et al.* (2006) soulignent le poids de l'organisation scolaire coréenne comme obstacle entravant la mise en place d'enseignements sur des questions socioscientifiques. L'enseignement pré-universitaire coréen est en effet, selon ces auteurs,

1. Cette revue de la littérature sur cet objet de recherche à part entière n'est pas exhaustive. Il s'agit seulement de quelques travaux dont nous avons eu connaissance.

fortement tourné vers la préparation des étudiants aux épreuves d'admission à des institutions d'enseignement supérieur.

Sadler *et al.* (2006) ont, eux, cherché à identifier comment des enseignants de sciences États-Uniens conceptualisaient la place de l'éthique en sciences et en éducation aux sciences. Ces auteurs ont aussi caractérisé comment ces professeurs déclaraient s'emparer en classe de thématiques où la dimension éthique était importante. En utilisant des entretiens semi-directifs, ils ont constaté que parmi les vingt enseignants interrogés tous sauf un estimaient que l'éthique et les valeurs jouaient un rôle important en science. Sadler *et al.* (2006) ont aussi fait émerger cinq profils d'enseignants.

Le premier groupe (7 enseignant sur 20) estiment que les controverses socioscientifiques constituent un aspect important de l'éducation scientifique et que l'éthique et les valeurs transparaissent nécessairement dans les discussions et des activités sur les questions socioscientifiques. Les enseignants de ce groupe traitent par ailleurs de questions socioscientifiques en classe. Ils pointent aussi un certains nombre de contraintes pouvant être parfois des obstacles à la mise en œuvre de curricula sur les question socioscientifiques : les problèmes de temps, les préoccupations des parents, l'absence de soutien administratif et la pression des évaluations standardisés. Ces obstacles ne sont toutefois pas considéré comme ces professeurs comme insurmontables.

Le deuxième profil d'enseignants (5 sur 20) identifié par Sadler *et al.* regroupe des professeurs qui considèrent également important d'inclure des questions socioscientifiques dans le curriculum et de prêter une attention particulière aux dimensions éthiques de ces questions. Toutefois ces enseignants se distinguent de ceux du premiers groupe par l'importance qu'ils accordent dans les entretiens aux obstacles entravant la mise en place de tels enseignements. Pour eux ces obstacles empêchent un traitement autre que sporadique, pendant un temps très limité de questions socioscientifiques en classe. Parmi les obstacles cités, ils mentionnent les contraintes de temps, l'importance de couvrir un programme où les questions socioscientifiques et les dimensions éthiques des sciences ne sont pas citées. Ces enseignants estiment aussi ne pas être à l'aise pour prendre en charge des questions chargées politiquement et éthiquement, sans avoir été explicitement mandatés pour traiter de ces questions. Enfin, deux d'entre eux ont souligné des problèmes d'ordre pédagogique pour prendre en charge de tels enseignements : un participant à l'étude a mentionné le manque de matériel à disposition et un autre le sentiment d'impréparation pour proposer des activités en classe sur les dimensions éthiques de questions controversées.

Les cinq enseignants correspondant au troisième profil identifié dans cette recherche reconnaissent pour leur part les liens entre éthique et sciences en particulier sur des questions socioscientifiques. Toutefois, ils estiment qu'aborder ces questions en classe n'est pas une priorité. Les professeurs de ce profil considèrent qu'il leur incombe en classe de sciences de traiter de données et de faits et pas des dimensions éthiques ou émotionnelles associées à des problèmes ou des productions scientifiques.

Le quatrième profil d'enseignant correspond à un unique participant à cette recherche. Cet enseignant est le seul sur les vingt interrogés à rejeter l'idée que sciences et valeurs puissent être reliées. De plus, cet enseignant était ouvertement opposé à la mise en place de discussions en classe de sciences sur des questions sociales ou éthiques. Pour lui, les classes de sciences sont un lieu où doivent seulement être discutés des aspects "scientifiques" et "factuels" . Il remet d'ailleurs en cause le fait que des élèves de lycée puisse avoir l'expertise scientifique suffisante pour porter des jugements sur des questions socioscientifiques complexes.

Enfin le dernier profil d'enseignant identifié par Sadler et al. concerne deux enseignants qui cadrent les discussions en classe sur les valeurs et sur des questions éthiques de manière plus large que les discussions dans les seules classes de sciences. Pour ces deux enseignants, les discussions d'ordre éthiques et les enseignements permettant de clarifier aux élèves de clarifier leurs valeurs ne doivent pas se limiter aux questions socioscientifiques controversées

mais infuser les cours des différentes disciplines.

Ces quelques résultats soulignent que si certains enseignants accordent de l'importance au traitement de questions socioscientifiques en classe, des éléments de professionnalité enseignante, pour reprendre les termes de Albe (2007), peuvent aussi se dresser comme des obstacles à la mise en place de tels enseignements.

Ces recherches montrent que l'accent placé par l'enseignant d'Annecy sur les problèmes d'emploi du temps est un problème mis en avant de manière récurrente dans les différentes recherches sur les intentions et les pratiques d'enseignants de sciences pour expliquer leurs difficultés à mettre en place des enseignements sur des questions socioscientifiques.

Finalement l'ajournement indéfini de la séance de discussion du cahier d'acteur à Annecy souligne les obstacles à une prise en charge en classe des enseignements dans une perspective d'éducation aux (nano)sciences pour la citoyenneté.

17.2 Des contraintes d'emploi du temps

Travailler avec des enseignants participant à Nano@school a donc contrarié notre dessein initial de co-construction de la séquence pédagogique sur les nanotechnologies, avec les professeurs avec qui nous avons collaboré. Un autre facteur en parti lié à ce choix a de plus corsé la mise en place des activités en classe : les contraintes d'emploi du temps des différents acteurs participant à notre projet de recherche.

Nous avons déjà esquissé que l'enseignant d'Annecy avait eu des difficultés à dégager du temps, en particulier en fin d'année scolaire. Il nous semble que cette peine à dégager des heures a été de plus renforcée par le caractère fluctuant de l'emploi du temps de Nano@school. Jusqu'à tard dans l'année, les dates de la venue à Grenoble des différentes classes n'étaient pas vraiment arrêtées. Il était donc plus compliqué de s'organiser en ne connaissant que tardivement ce paramètre, surtout que nous discutions systématiquement d'une part avec les enseignants avec qui nous collaborions et de l'autre avec nos encadrants, co-architectes actifs des activités mises en place en classe.

Par ailleurs, les difficultés à harmoniser les emplois du temps de toutes les parties prenantes de notre recherche nous ont conduit à décaler dans le temps certaines interventions. Ce fut en particulier le cas pour la dernière séance de discussion du cahier d'acteur avec la première classe de Romans.

Il est difficile de dire dans quelle mesure ce décalage a pu influencer le déroulement de cette séance. Toutefois, l'enseignant semblait convaincu que les échanges auraient été plus dynamiques et que les élèves se seraient sentis plus impliqués si cette discussion avait eu lieu quelques semaines plus tôt, juste après leur venue à Minatec.

Finalement, ce choix de travailler avec des professeurs participant aux ateliers Nano@school a donc, selon nous, compliqué la mise en place de notre recherche empirique d'au moins trois manières.

- Cela nous a fixé des contraintes de calendrier que de plus nous n'avons connues que très tard.
- Cela nous a amené à travailler avec deux enseignants sollicités par l'inspection et à ce titre peut-être moins libres de décliner notre proposition.
- Enfin, notre projet s'est retrouvé mis en concurrence avec la commande des organisateurs des ateliers Nano@school. Cela a, selon nous, parasité notre relation d'abord avec l'enseignant de Grenoble puis et dans une moindre mesure avec celui d'Annecy.

Ainsi, si nous persistons à penser que tenter d'intégrer Nano@school dans une séquence d'enseignement outillant les élèves pour comprendre les controverses soulevées par les nanotechnologies était une idée valable, il aurait été certainement plus productif d'entamer la collaboration

avec des enseignants avant que ceux-ci n'aient été sélectionnés pour participer à Nano@school. D'ailleurs, force est de constater que malgré nos efforts, l'intégration de Nano@school à cette séquence d'enseignement a été très marginale, hormis peut-être avec l'une des classes de Romans.

Chapitre 18

Analyse de la première mise en œuvre du jeu de rôle à Grenoble

18.1 Objectifs de l'analyse et méthodologie

En examinant les échanges qui ont eu lieu au cours de la première mise en œuvre de l'activité de jeu de rôle, nous cherchons à apporter des éléments de réponse à notre question de recherche :

> "Comment les élèves comprennent-ils et mettent-ils à distance les discours sur les nanosciences et les nanotechnologies portés par différents acteurs intéressés par ces développements ?"

Par ailleurs, l'analyse des interventions des élèves, mais aussi de leurs productions écrites réalisées au cours de cette activité doit également nous permettre de sonder comment ce jeu de rôle a permis de répondre à l'enjeu éducatif que nous lui avions assigné. Nous souhaitions en effet, que ce jeu de rôle permette aux élèves d'avoir, en un temps court, un aperçu des différents objets de débat au cœur des controverses soulevées par les développements des nanotechnologies.

Ce texte de synthèse est construit en trois parties. Nous commencerons par proposer un aperçu des thèmes abordés dans la discussion en exposant brièvement le résultat de notre découpage thématique préliminaire. Nous reviendrons ensuite thématique par thématique, sur la manière dont les élèves ont mobilisé le contenu de leur cahier d'acteur au travers du jeu de rôle et sur les différents paralogismes que nous avons repérés dans leur argumentation. Enfin, nous refermerons ce texte par un résumé thématique et une discussion critique de ce jeu de rôle.

18.2 Aperçu des thèmes discutés au cours du jeu de rôle

Le tableau ci-dessous répertorie les différents thèmes discutés lors du jeu de rôle.

Numéros de répliques	Thèmes des échanges
9 à 34	Présentation des acteurs
35 à 56	Clinatec et l'utilisation des nanotechnologies en médecine
57 à 73	Menaces pour les libertés, réglementation, et convergence des technologies
74 à 104	Risques sanitaires et environnementaux et gestion de ces risques

105 à 109	Aspects économiques et perspectives ouvertes par les développements des nanotechnologies
110 à 122	Priorités de recherche
123 à 136	Toxicité et absence de recul
137 à 164	Mise en débat et information des gens
165 à 180	Utilisation des nanoparticules et impacts environnementaux
181 à 222	Réglementation, protection des données médicales et Clinatec
223 à 233	Développement des recherches en particulier sur les questions environnementales
234 à 241	Information des citoyens
242 à 273	Tour de table final

Comme le met en évidence ce tableau, l'entrée dans la discussion s'est opérée par un bref tour de table introductif où les élèves se sont présentés en quelques mots, puis les échanges ont porté immédiatement sur l'utilisation des nanotechnologies en médecine. Comme nous le verrons cette entrée particulière dans le débat a eu une influence sur la suite des échanges.

Dans ce qui suit, nous allons procéder à l'analyse thématique par thématique du contenu des interventions des élèves. Pour permettre au lecteur d'apprécier la dynamique du débat, nous conserverons l'ordre d'apparition des thèmes proposé dans ce tableau.

18.3 Analyse du contenu des échanges : Mobilisation du contenu des cahiers d'acteur et argumentation

18.3.1 Tour de table introductif : présentation des acteurs et de leurs missions

Le jeu de rôle commence par un tour de table où chaque élève-acteur présente d'une phrase l'organisation qu'il représente. Certains élèves ont alors simplement énoncé le nom de l'organisation qu'ils ont représentée. C'est le cas des élèves représentant l'Académie de Médecine et la CFE-CGC.

16	Lucie - Académie Médecine	Moi je fais partie de l'Académie Nationale de Médecine.

33	Cédric	Je représente le syndicat CFE-CGC. Je suis là bah pour *(inaudible)*

D'autres ont précisé les missions de l'organisation dont ils endossent le costume de porte-parole.

L'élève représentant le CNRS et le CEA présente en quelques mots ces organismes de recherche en soulignant leur rôle dans le développement des nanotechnologies.

17	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord, l'académie Nationale de Médecine.Vous vous êtes ?
18	Aude - CNRS/CEA	Le CNRS et le CEA, et on emploie la plupart des scientifiques qui travaillent sur les nanotechnologies en France

Les auteurs du cahier d'acteur du CNRS et du CEA écrivent pour leur part :

> *"En 2009, près de 7 000 chercheurs travaillent en France sur les nanosciences et les nanotechnologies, dont 6 500 au CNRS et au CEA, ou en lien avec les deux organismes" (CNRS-CEA)*

> *"L'Etat a confié au CNRS et au CEA la mission de développer les nanosciences et les nanotechnologies au service de la collectivité nationale, en lien avec les universités et les industriels" (CNRS-CEA)*

> *"Le CNRS et le CEA sont les deux acteurs nationaux majeurs des recherches sur les nanosciences et nanotechnologies." (CNRS-CEA)*

L'élève utilise donc ces éléments pour présenter le CNRS et le CEA et met en avant du même coup le thème des emplois dans le secteur de la recherche allant de pair avec les développements des nanotechnologies.

Pour sa part, l'élève représentant la FEBEA s'appuie sur les quelques lignes d'un encadré du cahier d'acteur pour situer l'organisation dont il s'apprête à rapporter les prises de position.

24	Mathieu - FEBEA	Moi je représente la FEBEA, l'unique syndicat professionnel des entreprises de beauté et de bien-être.

Ses propos reprennent exactement les mots choisis par les auteurs du cahier de la FEBEA où l'on peut lire :

> *"La FEBEA est l'unique syndicat professionnel des entreprises de beauté et de bien-être" (FEBEA)*

L'élève colle ainsi au contenu du cahier d'acteur. Son groupe avait par ailleurs noté en préparation à la question "L'acteur définit-il ses missions et si oui comment ?"

> *"Vendre des produits cosmétique et défendre les intérêts de ces entreprises."*

L'élève représentant l'Institut National de Recherche et Sécurité se présente, elle, en restant très générale et en utilisant également des indications fournies par l'INRS sur ses missions.

31	Maria - INRS	Moi je représente l'institut national de recherche et de sécurité. Donc bon bah, toujours est-il donc que je suis sur le domaine de la sécurité et de la santé par rapport aux nanotechnologies ;

L'élève souligne qu'elle travaille dans le secteur de la sécurité et de la santé par rapport aux nanotechnologies sans préciser ce que fait exactement l'INRS dans ces deux domaines. Dans son cahier d'acteur, cet institut, pour sa part, écrit :

> *"L'INRS est une association loi 1901 sans but lucratif gérée par un conseil d'administration paritaire. Référence en matière de prévention des risques professionnels, l'Institut participe au développement de la culture " santé et sécurité au travail "au travers de ses cinq modes d'action complémentaires : études et recherche, assistance, formation, information et communication." (INRS)*

> *"Les besoins de recherche sont immenses et l'INRS, comme de nombreux autres instituts de recherche, se mobilise pour développer les connaissances sur la toxicité des nanoparticules et concevoir des méthodes fiables pour évaluer l'exposition." (INRS)*

Dans cette présentation par l'INRS de ses missions, il n'est donc pas précisé que l'INRS se focaliserait uniquement sur le cas des nanotechnologies même si le cahier d'acteur qu'il a proposé à la CNDP porte évidemment sur ces questions.

Les élèves représentant respectivement le CENG, les Amis de la Terre et l'Association Française Transhumanistes opèrent pour leur part une sorte de "réduction" des missions de l'organisation dont ils portent le message. Par réduction, nous entendons qu'ils s'appuient sur le contenu du cahier d'acteur pour se présenter, mais qu'ils ne retiennent seulement qu'une partie des fonctions des organismes qu'ils doivent représenter.

Ainsi, l'élève-actrice représentant le Collectif des Enjeux sur les Nanotechnologies à Grenoble se présente dans le débat de la manière suivante :

29	Cécilia - CENG	Moi je suis du CENG, le Collectif sur les Enjeux des Nanotechnologies de Grenoble et nous on s'intéresse au rapport entre les nanotechnologies et la société. Leur rapport

En s'exprimant de la sorte, elle reprend en partie les termes employés par le CENG qui explique dans son cahier d'acteur :

> *"Le CENG s'intéresse aux nanotechnologies et à leurs effets, aux rapports entre sciences, techniques, société et territoire. Il analyse les processus de décision et participe à l'animation du débat public sur ces questions. Il agit et favorise toutes actions visant à permettre l'intervention citoyenne dans les processus de décisions" (CENG)*

L'élève reste toutefois assez vague et ne reprend pas ici l'idée de travailler à l'intervention citoyenne dans les prises de décisions. Dans les fiches de préparation du jeu de rôle, les élèves avaient pourtant répondu à la question "L'acteur définit-il ses missions et si oui comment ?"

> *"oui, l'analyse critique et pluraliste des choix sur les procédures de décision sur les nanotechnologies. Ils sont non institutionnel et non partisan mais pas apolitique ("volonté de dépasser la dimension technique et éthique")"*

Ils avaient ainsi recopiés des éléments issus du cahier d'acteur du CENG où l'on peut lire :

> *"Notre objectif est l'analyse critique et pluraliste des choix, des procédures de décisions publiques et privées, concernant les nanotechnologies à partir de la situation de la région grenobloise. Notre action se veut non institutionnelle et non partisane, ce qui ne veut pas dire apolitique." (CENG)*

De son côté, l'élève représentant de l'Association Française Transhumaniste commence par se présenter en attribuant à cette organisation, une mission d'information.

20	Aurélie - Transhumanistes	euh, on est l'association française transhumaniste et on a pour mission de, d'informer les gens sur euh, le débat des nanotechnologies

En prêtant à l'Association Française Transhumaniste un rôle d'information, l'élève reprend une idée esquissée dans les fiches de préparation où son groupe avait relevé :

> *"Cet acteur a pour mission de mettre à disposition toutes les questions qui se posent sur les nanotechnologie et essayer d'y répondre. Pour cela, il diffuse des document et informe la population"*

Les élèves ont ici noté quelque chose de différent de ce qu'on peut lire dans le cahier d'acteur de cette organisation où il est écrit :

"Cette association s'est donnée pour objet de : "diffuser les thématiques et les questionnements relatifs aux technologies susceptibles d'améliorer et de prolonger la vie des individus et de l'espèce humaine. L'association se propose de promouvoir ces technologies liées notamment au fonctionnement corporel et aux conditions de vie aussi bien dans les domaines scientifiques, philosophiques, artistiques, etc..." (extrait des statuts de l'association)" (AFT)

Les élèves ont donc juste répercuté le fragment du cahier d'acteur *: "diffuser les thématiques et les questionnements"*. Ils ne parlent pas de technologies permettant d'améliorer ou de prolonger la vie des individus. Ils ne parlent pas non plus de promouvoir ces technologies. Ils parlent seulement d'information sur les débats suscités par les nanotechnologies.

Ce type de présentation ne mettant l'accent que sur une partie des missions revendiquées par l'acteur dans son cahier, se retrouve aussi d'une certaine manière lorsque l'élève représentant les Amis de la Terre prononce quelques mots pour résumer les objectifs de cette association.

27	Corentin - Amis de la Terre	Moi je représente les Amis de la Terre. C'est pour informer les gens sur les effets néfastes des nanotechnologies.

Dans cette première prise de parole, l'élève s'appuie sur certains éléments relevés par lui et son groupe lors de la préparation du jeu de rôle. Ils ont en effet écrit à propos des missions des Amis de la Terre :

"Cet acteur définit ses missions en exploitant plusieurs constats portant sur les effets néfastes des nanotechnologies".

Le terme d'information n'apparaît cependant pas sur les fiches qu'ils ont remplies. Par ailleurs, les auteurs du cahier des Amis de la Terre ont écrit dans le petit paragraphe où ils présentent l'association, qu'elle

"œuvre pour la protection de l'homme et de l'environnement, ainsi que pour la promotion de sociétés soutenables au nord comme au sud" (Les Amis de la Terre)

L'élève-acteur reprend donc en partie dans son intervention ce que lui et son groupe avaient écrit en préparation. Il restreint du même coup les missions des Amis de la Terre à une mission d'information sur les effets néfastes des nanotechnologies, sans retenir tout ce qui a trait à la réflexion sur le modèle de développement de nos sociétés et sur la protection de l'Homme et de l'Environnement.

Enfin, deux autres élèves-acteurs ont proposé une présentation des missions de l'organisation qu'ils représentent, sans vraiment reprendre ce qu'on peut lire dans le document qu'ils ont étudié en amont du jeu de rôle. C'est le cas de l'élève représentant la CNIL.

10	Diana - CNIL	Donc nous c'est la C-N-I-L
11	Béné - Gestionnaire du débat	La CNIL
12	Diana - CNIL	Ouais, et mon but c'est de contrôler euh, l'inf... enfin internet et puis...
13	Béné - Gestionnaire du débat	Vous pouvez parler à... à l'assemblée
14	Diana - CNIL	On contrôle les informations et euh...
15	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord, donc la CNIL donc qui s'intéresse aux informations. Ensuite, vous êtes ?

L'élève-actrice déclare ici que la CNIL "contrôle les informations". Dans le cahier d'acteur, il est écrit :

> *"La CNIL est une autorité administrative indépendante dotée d'un pouvoir de contrôle renforcé sur l'ensemble des traitements de données personnelles" (CNIL)*
>
> *"La CNIL a pour mission de veiller à ce que le développement des nouvelles technologies ne porte ni atteinte à l'identité humaine, ni au droits de l'homme, ni à la vie privée, ni aux libertés individuelles ou publiques." (CNIL)*

C'est d'ailleurs cette deuxième citation qu'avaient relevée les élèves sur leur fiche de préparation à la question "l'acteur définit-il ses missions et si oui comment ?". Il n'est donc pas écrit dans le cahier d'acteur que la CNIL contrôle les informations mais qu'elle contrôle le traitement des données personnelles. L'élève opère donc ici une sorte de glissement de sens par rapport au contenu du cahier d'acteur, en établissant un lien entre des éléments du cahier qui n'existait pas dans ce document.

Enfin, l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes prête lui, à l'association qu'il représente, une mission de "vulgarisation".

22	Thomas - Sciences Citoyennes	Euh moi je suis la Fondation des Sciences Citoyennes et on a pour mission de vulgariser un petit peu les sciences auprès des, du plus grand nombre.

En déChloént que la Fondation Sciences Citoyennes a pour mission de vulgariser les sciences, l'élève ne reprend pas les missions que cette organisation revendique. Les auteurs du cahier d'acteur ont en effet écrit pour se présenter, que leur rôle était

> *"de favoriser et prolonger le mouvement actuel d'appropriation citoyenne et démocratique de la science, afin de la mettre au service du bien commun. Sciences Citoyennes fait un double pari. Le premier est de réunir des chercheurs scientifiques critiques et des "profanes" engagés dans des luttes (sociales, médicales, environnementales) où il rencontrent - voire contestent - la technoscience dominante et l'expertise officielle. Le second est d'unir dans une réflexion et une action transversale de "politisation" de la science et de l'expertise, des acteurs impliqués dans des secteurs souvent compartimentés (...)."* (FSC)

L'élève ne s'appuie de plus pas non plus sur ce que lui et son groupe ont noté en préparation, puisque les élèves ont écrit que la Fondation Sciences Citoyennes avait pour mission de :

> *"favoriser et prolonger le mouvement actuel d'appropriation citoyenne et démocratique de la science afin de la mettre au service du bien commune".*

L'élève n'a donc pas repris à l'oral l'idée d'appropriation citoyenne que son groupe avait pourtant retenue lorsqu'ils ont rempli leur fiche. Il lui substitue celle de *"vulgarisation des sciences pour les rendre accessibles à tous".*

Finalement, l'examen des répliques des élèves lors de ce tour de table introductif montre que certains élèves ont simplement énoncé le nom de l'organisation qu'ils ont représentée (élèves représentant l'Académie de Médecine et la CFE-CGC). D'autres ont mobilisé le contenu du cahier d'acteur qu'ils avaient étudié pour préciser les missions de l'acteurs qu'ils représentaient. L'élève-actrice représentant le CNRS et le CEA met ainsi en avant le rôle de ces organismes de recherche dans le développement des nanotechnologies. Celui représentant la FEBEA se présente comme syndicat professionnel des industriels du secteur des cosmétiques. L'élève représentant l'INRS indique que l'institut qu'elle représente travaille dans le domaine de la santé et de la sécurité sans donner plus de détails. Trois élèves représentant le CENG, l'Association Française Transhumaniste et les Amis de la Terre utilisent aussi des éléments issus de leur cahier d'acteur pour se présenter mais ne retiennent qu'une partie des missions mises en avant par les organisations qu'ils représentent.

L'élève représentant la CNIL se présente comme une organisation chargée de contrôler les informations. Elle utilise alors des éléments dont parle la CNIL dans son cahier, mais lui attribue aussi une mission qu'elle ne revendique pas. Enfin, l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes s'écarte des missions que cette organisation affiche dans son cahier d'acteur. Il déclare en effet que cette association souhaite "vulgariser" les sciences pour les rendre accessibles à tous quand la Fondation Sciences Citoyennes parle de *"favoriser et prolonger le mouvement actuel d'appropriation citoyenne et démocratique de la science, afin de la mettre au service du bien commun"*.

Passé ces courtes présentations, le débat commence.

18.3.2 Clinatec et l'utilisation des nanotechnologies en médecine

La première personne à intervenir dans le jeu de rôle est l'élève-actrice représentant le CENG. Elle entame le débat en affirmant que les développements des nanotechnologies sont souhaitables puisque plusieurs opérations ont été effectuées avec succès à Clinatec.

35	Béné - Gestionnaire du débat	Donc la question c'est quels sont pour vous les enjeux les plus importants du développement des nanosciences et des nanotechnologies. Alors est-ce que quelqu'un veut commencer à lancer le débat pour nous expliquer quels sont ces enjeux ? Allez-y
36	Cécilia - CENG	*(levant la main)* Bah, moi je veux bien.
37	Béné - Gestionnaire du débat	Oui, allez-y
38	Cécilia - CENG	Donc nous au CENG, on est pour le développement des nanotechnologies, parce qu'on a fait plusieurs opérations, à succès, à Clinatec, donc une clinique où on se sert des nanotechnologies. Donc les opérations en fait, on met des nanotechnologies dans le cerveau des patients qui sont atteints de maladies dégénératrices donc non guérissables et grâce aux nanotechnologies, ils arrivent à guérir ; Donc nous on serait pour le développement des nanotechnologies en neurologie.

Ainsi, dès sa première prise de parole, l'élève affirme que le CENG est *"pour le développement des nanotechnologies"*. Elle reprend ici un élément qu'elle et son groupe avaient relevé en préparation du jeu de rôle. Ils avaient ainsi noté sur leurs fiches, à propos des positions défendues par le CENG :

> *"L'acteur est majoritairement pour les nanotechnologies, mais il regrete le manque de communication avec le public de la part des entreprises nanotechnologiques qui pourrait entraîner des problèmes avec les travailleurs".*

Toutefois, le CENG, dans son cahier d'acteur, ne se déclare pas explicitement "pour le développement des nanotechnologies". Ce collectif appelle au contraire à dépasser les oppositions binaires pour ou contre les nanotechnologies.

> *"Notre propos refuse le choix binaire : pro-techniciste ou anti-techniciste ; pro ou anti- nano. La volonté de dépasser la dimension technique et éthique implique de se situer dans l'espace et le champ du politique : celui des logiques d'acteurs et des rapports entre les acteurs économiques, les experts, les pouvoirs publics." (CENG)*

Le thème de la “Nanomédecine” figure par ailleurs dans le cahier d’acteur du CENG. Cette organisation s’intéresse de plus au cas particulier de Clinatec mais ne mobilise pas cet exemple pour mettre en avant l’utilité des développements des nanotechnologies en médecine. Ainsi, le CENG indique :

> ***“Le cas de CLINATEC est une illustration de l’opacité qui entoure certaines décisions publiques et la démission de l’Etat sur ces questions.***
>
> *CLINATEC est créée à l’initiative d’un chirurgien mondialement connu pour ses opérations sur le cerveau de patients souffrant de maladies dégénératives. Il est prévu, entre autres, de développer la stimulation cérébrale profonde à haute fréquence en implantant des électrodes dans le cerveau. L’autre application, à plus long terme, porte sur les interfaces entre le cerveau et un ordinateur. Il s’agira d’implanter des puces avec des nanoélectrodes dans le cerveau de certains malades pour leur permettre notamment de piloter des effecteurs (souris d’un ordinateur, éléments de domotique). Le " sésame nano "a parfaitement fonctionné puisque 20 M ont été programmés pour CLINATEC dans le contrat de projets Etat Région (CPER 2007-2013) : Etat 3,5 puis 0 M , Région 8,1 puis 10,85 M , Département 3,85 M , Métro 2,3 M , Grenoble 2,2M, CEA 0,8M, autant d’aides publiques qui ne sont pas allouées à l’hôpital...*
>
> *En août 2008, le CEA de Grenoble lance le marché de conception-réalisation de CLINATEC par procédure restreinte ; ce marché n’est pas soumis au code des marchés publics !” (CENG)*

L’exemple de Clinatec n’est donc pas mobilisé par le CENG pour étayer une prise de position en faveur du développement des nanotechnologies, mais pour illustrer l’opacité et l’absence de contrôle public sur ce projet. L’élève ne répercute donc pas le point de vue du CENG dans sa prise parole. Elle bâtit de plus son argumentation sur un mélange d’éléments présents et absents dans le cahier d’acteur. La référence à des opérations sur des patients souffrant de maladies neurodégénératives figure ainsi effectivement dans le cahier. En revanche, il n’est écrit nulle part que ces opérations sur le cerveau auraient été des succès et qu’elles auraient permis de guérir les patients.

L’analyse de son argumentation met par ailleurs à jour une contradiction logique dans les propos de l’élève comme le montre la figure 18.1. Elle déclare en effet que les maladies dégénératives sont incurables mais aussi que les nanotechnologies permettent d’en guérir. Il nous semble enfin ici que l’élève-actrice joue sur les émotions de l’assistance pour asseoir son propos. Selon nous, son argumentation relève donc d’une argumentation *ad populum*. Son argumentation viole donc deux règles de la discussion critique : celle selon laquelle une partie ne peut défendre son point de vue qu’en avançant une argumentation relative à ce point de vue et celle qui affirme qu’une partie ne doit utiliser que des arguments logiquement valides, ou susceptibles d’être validés moyennant l’explicitation d’une ou plusieurs prémisses.

Cette intervention de l’élève représentant le CENG qui ouvre le débat suscite plusieurs réactions.

La première à réagir est l’élève-actrice représentant la CNIL. Elle parle des nanotechnologies comme de quelque chose de “néfaste” et invoque les problèmes de “contrôle des gens”. Elle aborde donc un thème différent des utilisations en médecine, évoqué par l’élève représentant le CENG.

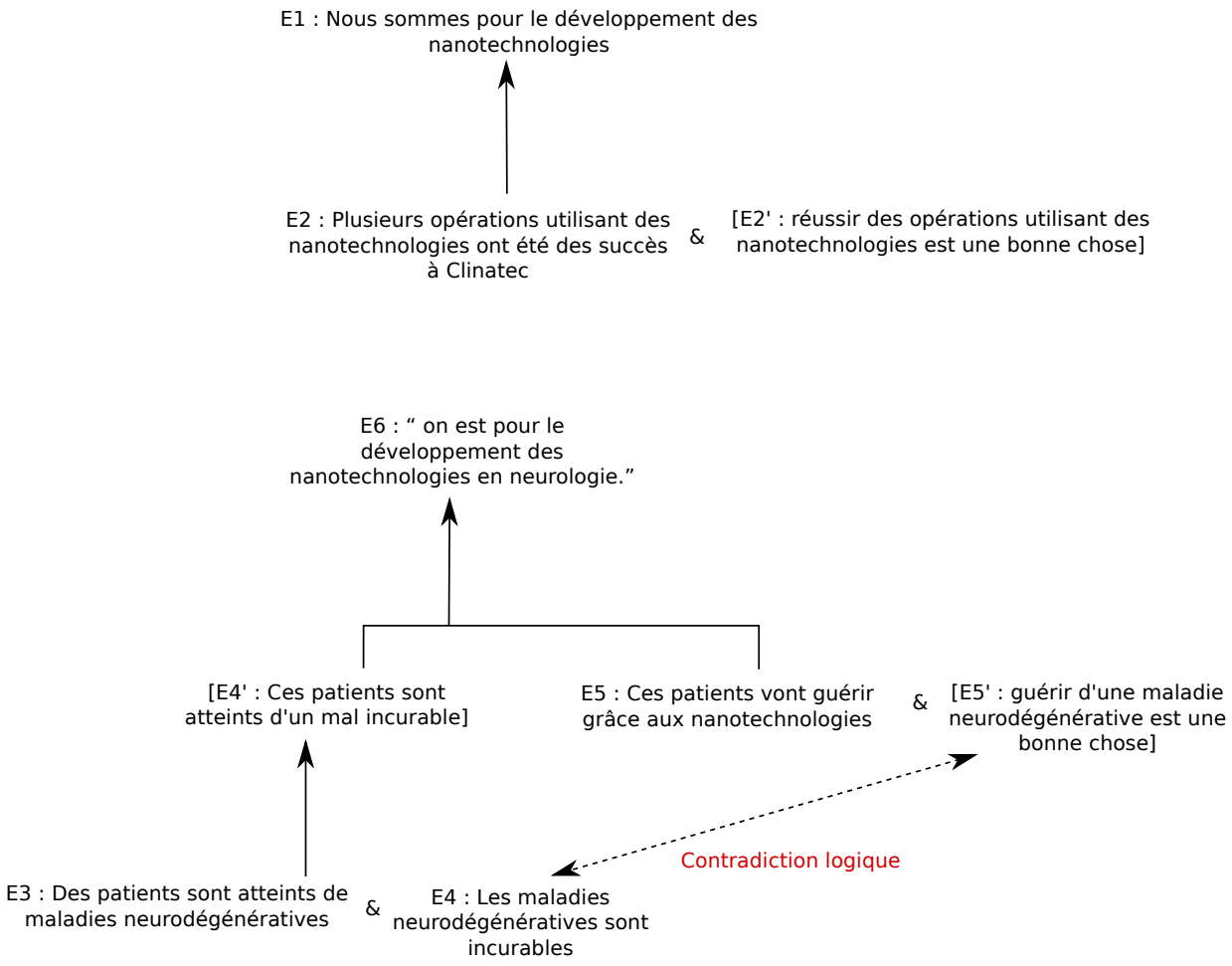


FIGURE 18.1 – Analyse de l’argumentation de l’élève à la réplique 38

40	Diana - CNIL	Euh moi je pense que c'est euh, c'est plus, les nanotechnologies c'est néfaste euh...ça contrôle euh... (inaudible) des gens euh... ça peut... Et euh
41	Béné - Gestionnaire du débat	Alors euh oui, donc par rapport à euh en utilisation en neurologie c'est ça ?
42	Diana - CNIL	Voilà.
43	Béné - Gestionnaire du débat	Donc vous pouvez développer un peu ?
44	Diana - CNIL	Bah en fait euh, ça va contrôler, ça va... On... peut... j'sais plus là.

L'élève ne met ici pas vraiment en perspective pourquoi elle parle de contrôle.

Le terme de contrôle est par ailleurs employé dans le cahier d'acteur de la CNIL, seulement dans le contexte de "contrôle des usages", comme par exemple dans les extraits suivants :

> *"Comment l'individu pourra-t-il avoir accès à ses données et en contrôler l'usage ?" (CNIL)*
>
> *"Conformément aux missions de contrôle que lui a confiées le législateur, il incombera aussi à la CNIL d'apprécier la proportionnalité des applications de traitements de données personnelles mettant en œuvre des nano-objets communicants." (CNIL)*

Cependant, en faisant référence au contrôle des gens, l'élève mobilise une idée proche de ce qu'on peut lire dans le cahier d'acteur de la CNIL qui traite de traçabilité et de protection des libertés. On peut ainsi y lire :

> *"Bon nombre d'applications annoncées des nanotechnologies impliquent des traitements de données à caractère personnel. Cela amène naturellement à s'interroger au sujet des nouveaux enjeux qu'elles soulèvent en termes de protection de la vie privée et des libertés individuelles, ainsi qu'à propos des garde-fous à prévoir et de la capacité du cadre législatif actuel à répondre à ce nouveau défi technologique." (CNIL)*

De plus, si l'on essaie de repérer les éléments sur lesquels l'élève-actrice s'appuie pour intervenir, on trouve que dans leur préparation, le groupe d'élèves étudiant le cahier d'acteur de la CNIL avait écrit à la question "quels aspects du développement des nanosciences et des nanotechnologies sont importants pour cet acteur ?" :

> *"Qu'elles deviennent de plus en plus petites, voire invisibles et de plus en plus nombreuses et qu'elles peuvent être utilisées pour contrôler les gens. Ces aspects posent des problèmes pour la maîtrise des informations et de la vie privée."*

Il nous semble donc que l'emploi du terme "néfaste" mentionné dans la réplique 40, renvoie à l'expression "*Ces aspects posent des problèmes*" figurant dans les fiches des élèves. Quant à l'aspect de contrôle, il avait aussi été explicitement noré par le groupe d'élève étudiant le cahier de la CNIL.

Suite à cette réaction de l'élève représentant la CNIL, l'élève représentant la FEBEA prend la parole. Au travers de son intervention, il revient sur les propos de l'élève qui a représenté le CENG portant sur l'utilisation des nanotechnologies en neurologie.

47	Béné - Gestionnaire du débat	*(Mathieu - FEBEA a levé la main)* oui, allez-y
48	Mathieu - FEBEA	Je pense que ce qu'il y a à dire, c'est que ça, ça robotise un petit peu le cerveau, de mettre des nanotechnologies à l'intérieur. Voilà.

Ici l'élève représentant l'industrie cosmétique ne s'appuie sur aucun élément issu de son cahier d'acteur. Ce document ne traite en effet nulle part d'utilisation des nanotechnologies pour la neurologie.

Puis, à peine quelques répliques plus tard, c'est au tour de l'élève représentant l'INRS d'objecter à la prise de position de l'élève représentant le CENG en faveur du développement des nanotechnologies pour la neurologie.

49	Béné - Gestionnaire du débat	*(rires ; Maria - INRS demande la parole)* Oui, Allez-y
50	Maria - INRS	Moi je suis un peu d'accord avec mademoiselle de la CNIL, parce que, donc on sait que les nanotechnologies sont utiles, mais on n'a pas... enfin on fait des études pour savoir les risques et on sait que dans différentes conditions, les nanotechnologies peuvent, peuvent être néfastes et peuvent entrer dans le corps par les voies digestives, cutanées et respiratoires, donc si on les implante directement dans le cerveau, est-ce qu'il n'y a pas un risque ? *(Cécilia - CENG - lève la main)*
51	Cécilia - CENG	Bah d'un autre côté, il s'agit de maladies dégénératrices, donc si on ne fait pas... enfin si on ne met pas de nanotechnologies, les patients sont de toute façon condamnés. Donc là, moi je parle vraiment pour un cas particulier en neurologie. Je ne parle pas pour toute maladie, moi je parle pour les maladies (inaudible)
52	Béné - Gestionnaire du débat	Oui, allez-y
53	Maria - INRS	Ça risque pas de, d'utiliser des humains comme des cobayes, si on ne sait pas si ça va vraiment s'améliorer dans tous les cas ?
54	Cécilia - CENG	On peut voir cet aspect mais d'un autre côté, comme je vous l'ai déjà dit, ce sont des humains qui sont de toute façon condamnés, donc les nanotechnologies peuvent leur permettre de vivre des années supplémentaires.
55	Maria - INRS	Mais ça ne risque pas d'aggraver euh
56	Cécilia - CENG	Toutes les opérations qui ont été effectuées à Clinatec ont été toujours des succès. Donc pour l'instant non.

L'élève représentant l'INRS rebondit ici sur les interventions précédentes, à la fois de l'élève-actrice qui représentait la CNIL et de l'élève-actrice représentant le CENG. Elle se réfère de plus, dans cet échange, au contenu de son cahier qui traite de la toxicité des nanoparticules alors que l'élève du CENG parlait de nanotechnologies utilisées dans des opérations sur le cerveau. Il n'est donc pas exclu que la conversation ci-dessus repose au départ sur un

quiproquo : les deux élèves parlent toutes deux de nanotechnologies mais se réfèrent à des objets différents.

Néanmoins, en dépit de ce possible malentendu, lorsque dans la réplique 50, l'élève estime qu' "on a fait des études sur les risques", elle s'appuie sur des éléments contenus dans le cahier d'acteur de l'INRS puisque cet institut y affirme :

> *"Il a été montré que certaines nanoparticules, dans des conditions expérimentales, sont capables de franchir les barrières biologiques et de migrer vers d'autres sites de l'organisme (phénomènes de translocation circulatoire et cérébrale). Les données toxicologiques actuelles, bien que parfois contradictoires, incitent par ailleurs à s'interroger sur les risques encourus, y compris pour des composés réputés inertes à plus grande échelle. " (INRS)*

L'élève-actrice ne reprend cependant pas les marques de prudence esquissées par l'INRS pour rendre compte des résultats expérimentaux actuellement disponibles.

Elle met ensuite en avant que dans certaines conditions, les nanotechnologies peuvent "être néfastes". Là encore, il nous semble qu'elle s'appuie en partie sur le contenu du cahier d'acteur de l'INRS où il est écrit par exemple :

> *"Les nanoparticules et les nanomatériaux sont des produits chimiques préoccupants pour la santé et la sécurité au travail." (INRS)*
>
> ou encore
>
> *"Il a été montré que certaines nanoparticules, dans des conditions expérimentales, sont capables de franchir les barrières biologiques et de migrer vers d'autres sites de l'organisme (phénomènes de translocation circulatoire et cérébrale). Les données toxicologiques actuelles, bien que parfois contradictoires, incitent par ailleurs à s'interroger sur les risques encourus, y compris pour des composés réputés inertes à plus grande échelle. Un certain corpus de connaissances est en effet en faveur de l'hypothèse d'une plus grande toxicité des nanoparticules, notamment en ce qui concernent les effets inflammatoires pulmonaires, comparativement aux particules micro- et macroscopiques de même nature chimique." (INRS)*

Enfin, à la fin de la réplique 50, l'élève fait référence à la pénétration "des nanotechnologies" dans le corps par différentes voies : digestives, cutanées et respiratoires. De nouveau, l'élève s'appuie sur des éléments issus du cahier de l'INRS, même si cette organisation ne parle que du cas des nanoparticules.

> *"L'étude des effets sur la santé des nanoparticules nécessite d'envisager les trois voies d'exposition potentielles que sont les voies digestive, cutanée et respiratoire, cette dernière étant considérée comme la voie majeure d'exposition en milieu professionnel." (INRS)*

Dans toute la réplique 50, l'élève-actrice s'appuie donc sur des éléments issus du cahier de l'INRS même si elle étend les interrogations de cet institut sur la toxicité des nanoparticules aux nanotechnologies en général. Cette substitution du terme nanotechnologies aux termes nanoparticules ou nanomatériaux est pourtant quelque chose qui ne figurait pas dans les fiches remplies par les élèves en préparation du jeu de rôle.

Ainsi, parmi les recommandations qu'ils avaient répertoriées, on peut lire :

> *"Attention aux nanoparticules pour lesquelles il y a peu de données toxicologiques et ceux dont les effets biologiques sont importants"*

Ils ont donc bien spécifié le terme de nanoparticules. De même, concernant les questions de toxicité, les élèves ont écrit, dans l'un des tableaux de préparation du jeu de rôle :

> *→ il a été montré que dans certaines conditions les nanoparticules peuvent franchir les barrières biologiques de l'organisme*
>
> *→ effets inflammatoires pulmonaires.*

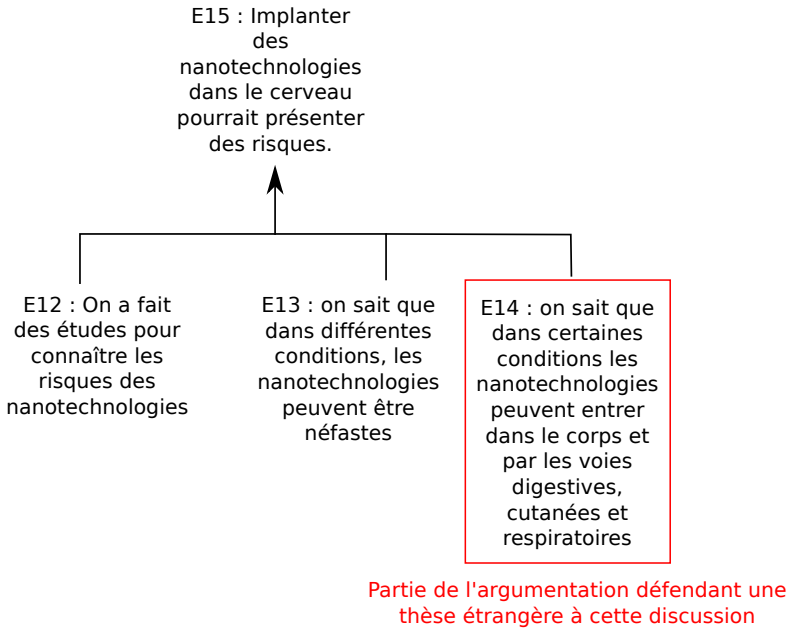


FIGURE 18.2 – Analyse de l'argumentation déployé par l'élève représentant l'INRS à la réplique 50

Enfin, la reconstitution de l'argumentation de l'élève représentant l'INRS au travers de cette première réplique qui apparaît à la figure 18.2, met en évidence que, suivant une stratégie d'analyse "maximalement argumentative", l'un des arguments utilisé par l'élève n'est pas vraiment en rapport avec le point de vue défendu. Cette partie de son argumentation est donc non pertinente (*ignoratio elenchi*) et viole la règle 4 de la discussion critique : "Une partie ne peut défendre son point de vue qu'en avançant une argumentation relative à ce point de vue".

Cette réaction de l'élève de la CNIL émettant l'hypothèse que l'utilisation des nanotechnologies en neurologie pourrait comporter des risques suscite une réponse de l'élève représentant le CENG. Elle répond en déChloént :

> *"Bah d'un autre côté, il s'agit de maladies dégénératrices, donc si on ne fait pas... enfin si on ne met pas de nanotechnologies, les patients sont de toute façon condamnés. Donc là, moi je parle vraiment pour un cas particulier en neurologie. Je ne parle pas pour toute maladie, moi je parle pour les maladies (inaudible)"*

L'élève représentant le CENG commence donc par affirmer que le cas des maladies neurodégénératives est particulier puisque les malades sont promis à une mort prochaine et que, par conséquent, cela rend acceptable l'utilisation, même hasardeuse, des nanotechnologies en neurologie.

On ne peut rien lire de semblable dans le cahier d'acteur du CENG. Ce collectif semble même aller à l'encontre de cette prise de position de l'élève-actrice puisqu'il écrit :

> *"Les expérimentations humaines sur le cerveau, hors du cadre hospitalier, posent bien évidemment des questions graves concernant tant les libertés que l'intégrité humaine et la sécurité." (CENG)*

Ce contre-sens par rapport au contenu du cahier d'acteur peut être éclairé par l'étude des fiches replies par les élèves en préparation du jeu de rôle. Elles ont ainsi répondu à la question "quels aspects du développement des nanos sont importants pour cet acteur ?" :

> *"Pour lui, le développement des nanosciences et des nanotechnologies sont importants dans le domaine médicale. Ex : neurologie.*

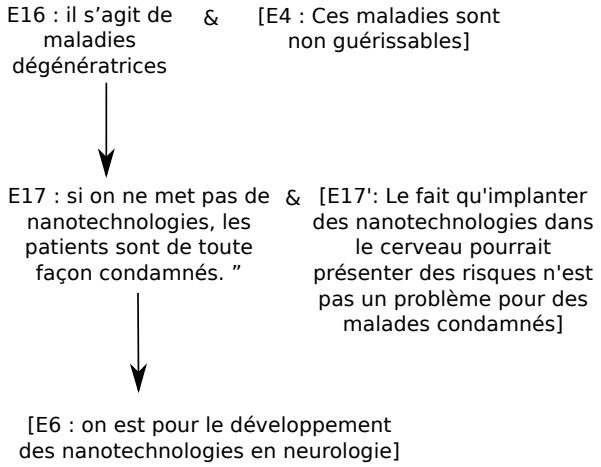


FIGURE 18.3 – Argumentation de l'élève représentant le CENG au cours de la réplique 51

→ *Plusieurs enjeux mais tous dans la médecine".*

Puis, dans la case consacrée aux arguments mis en avant par le CENG pour étayer cette thèse, on peut lire :

"Opération sur le cerveau de patients souffrant de maladie dégénératives."

Enfin, sur la fiche où il était demandé aux élèves de classer les aspects mentionnés par l'acteur par ordre d'importance, elles ont classé en 2ème position :

"les bienfaits des nanotechnologies en neurologie
→ *opérations réussies sur le cerveau de patients souffrant de maladies dégénératrices."*

puis elle expliquent ensuite ce choix en écrivant :

"second argument majeur du cahier d'acteur et c'est un argument important car il redonne l'espoir aux malades condamnés".

L'élève-actrice utilise donc dans la réplique 51 des arguments qui s'inspirent de ce qu'elle et ses camarades avaient noté en amont du jeu de rôle.

Enfin, sur le plan de l'analyse argumentative, l'argumentation de l'élève représentée sur la figure 18.3 nous semble s'apparenter à une argumentation *ad populum* faisant appel au registre pathétique pour justifier son positionnement en faveur du développement des nanotechnologies pour la neurologie.

L'élève représentant l'INRS prend alors spontanément la parole pour objecter à la prémisse implicite que nous avons reconstituée dans les termes suivants : *"Le fait qu'implanter des nanotechnologies dans le cerveau pourrait présenter des risques n'est pas un problème pour des malades condamnés."*

Elle pose la question :

"Ça risque pas de, d'utiliser des humains comme des cobayes, si on ne sait pas si ça va vraiment s'améliorer dans tous les cas ?"

Cette réaction à la prise de parole de l'élève représentant le CENG ne s'appuie sur aucun passage du cahier d'acteur de l'INRS, ni sur aucun des éléments relevés par les élèves en préparation. Cette objection n'occasionne par ailleurs aucune modification de la prise de position de l'élève représentant le CENG qui maintient :

"On peut voir cet aspect mais d'un autre côté, comme je vous l'ai déjà dit, ce sont des humains qui sont de toute façon condamnés, donc les nanotechnologies peuvent leur permettre de vivre des années supplémentaires."

L'élève-actrice représentant le CENG fait donc de nouveau appel au pathos pour défendre son point de vue. En outre, l'idée que les opérations menées à Clinatec peuvent permettre à des malades condamnés d'espérer vivre des années supplémentaires n'apparaît nulle part dans le cahier du CENG. Ce collectif explique en effet qu'il s'intéresse à cette clinique hors-centre hospitalier pour décortiquer le processus décisionnel et mieux souligner que ces projets concernent les citoyens :

> *"Le CENG essaye sur des cas concrets, par exemple CLINATEC, d'analyser les processus de décision pour en comprendre les ressorts, avec l'objectif de convaincre les promoteurs que l'intérêt général et les réponses aux problèmes posés justifient que ces questions sortent des cercles restreints pour devenir l'affaire du public." (CENG)*

Cette nouvelle prise de parole de l'élève représentant le CENG provoque alors une nouvelle intervention de l'élève représentant l'INRS :

> *"Mais ça ne risque pas d'aggraver euh"*

L'élève représentant le CENG conclut alors l'échange en affirmant :

> *"Toutes les opérations qui ont été effectuées à Clinatec ont été toujours des succès. Donc pour l'instant non."*

Encore une fois, le CENG ne dit rien du succès des opérations menées à Clinatec puisque comme nous l'avons déjà signalé, cette organisation écrit seulement :

> *"CLINATEC est créée à l'initiative d'un chirurgien mondialement connu pour ses opérations sur le cerveau de patients souffrant de maladies dégénératives. Il est prévu, entre autres, de développer la stimulation cérébrale profonde à haute fréquence en implantant des électrodes dans le cerveau. L'autre application, à plus long terme, porte sur les interfaces entre le cerveau et un ordinateur. Il s'agira d'implanter des puces avec des nanoélectrodes dans le cerveau de certains malades pour leur permettre notamment de piloter des effecteurs (souris d'un ordinateur, éléments de domotique)." (CENG)*

L'élève représentant le CENG clôture ainsi la discussion en généralisant la réussite des opérations sur le cerveau alors que ce collectif n'en dit rien. Elle radicalise la proposition qu'elle énonçait à la réplique 38 lorsqu'elle parlait seulement de *"plusieurs opérations à succès"*. Du point de vue de l'argumentation, elle utilise ici une "stratégie d'immunisation" pour esquiver la charge de la preuve. Elle viole ainsi la règle de la discussion critique : "toute partie qui a avancé un point de vue est obligé de le défendre si l'autre partie le lui demande" et donne par ailleurs l'impression de clore la dispute. Pourtant, elle n'a pas vraiment répondu à la remarque de Maria qui objectait que ces opérations se servaient de patients comme de cobayes.

Finalement, au travers de ses interventions sur les utilisations en médecine, l'élève-actrice représentant le CENG fait référence à l'exemple de Clinatec mentionné par ce collectif. Toutefois, elle ne répercute pas les interrogations de cette organisation sur la nanomédecine et l'opacité des décisions qui ont abouti à la mise sur pied de Clinatec. Elle utilise en revanche cet exemple pour argumenter son point de vue en faveur des nanotechnologies pour la neurologie. Ainsi elle extrapole à partir de la mention d'opérations sur le cerveau présente dans le document qu'elle a étudié préparation, en affirmant que ces opérations ont été des succès. Elle a enfin recours au registre pathétique pour défendre son point de vue, en déChloént que les nanotechnologies vont permettre à des malades condamnés d'être guéris. De nouveau, cette argumentation ne figure pas dans le cahier d'acteur du CENG où il n'est question nulle part de guérison. Ses interventions suscitent enfin des réactions de plusieurs acteurs. En particulier, l'élève représentant la FEBEA et l'élève représentant l'INRS prennent la parole pour émettre des réserves. Là aussi, leurs réactions ne s'appuient ni sur leurs fiches de préparation, ni sur le contenu de leur cahier d'acteur.

L'élève représentant la CNIL s'exprime aussi. En s'inspirant du contenu de son cahier d'acteur, elle met en avant que les nanotechnologies pourraient être utilisées pour contrôler les gens. Son intervention reste cependant assez générale.

18.3.3 Menaces pour les libertés, réglementation, et convergence des technologies

Suite à ces échanges portant essentiellement sur l'utilisation des nanotechnologies en neurologie, la gestionnaire de débat tente de relancer l'élève représentant la CNIL pour lui donner l'occasion de préciser ce qu'elle avait à dire sur les questions de contrôle.

57	Béné - Gestionnaire du débat	Par contre vous *(en désignant Maria - INRS)*, vous avez répondu sur la toxicité. Je pense que la dame de la CNIL était plus sur des aspects libertés individuelles.
58	Diana - CNIL	C'est çà *(rires de l'assistance)*
59	Béné - Gestionnaire du débat	Peut-être que vous voulez revenir là dessus. Donc effectivement là nous avons un argument sur les histoires de toxicité, vous êtes peut-être plus sur les libertés est-ce que vous voulez revenir là-dessus euh. Pourquoi selon vous ça pourrait être euh
60	Diana - CNIL	Donc si en fait, on peut utiliser ces puces euh, pour contrôler les gens et ça peut porter atteinte au code civil et euh... ça peut... et le manque de sécurité en fait je pense euh sur ces nanotechnologies. Le fait que ce soit dans le cerveau, on peut les... contrôler et...
61	Béné - Gestionnaire du débat	*(Aurélie - Transhumanistes lève la main)* Donc, ouais allez-y

L'élève représentant la CNIL utilise dans la réplique 60 le terme de "puces", qui n'avait pas encore été employé à ce stade du jeu de rôle puisque lors des répliques précédentes, il était seulement question de "nanotechnologies" utilisées pour des opérations sur le cerveau. L'élève se réfère donc ici à une autre facette des nanotechnologies mais sans vraiment le souligner puisqu'elle recourt au démonstratif "ces puces" comme s'il y avait déjà été fait référence.

Les notions de puces, de contrôle et de problèmes de sécurité des dispositifs figurent par ailleurs dans le cahier de la CNIL puisque le terme de puces y est employé neuf fois et que les préoccupation de traçage des individus et de sécurité des données sont centrales dans ce document.

À propos des possibilités de contrôle des individus, on peut ainsi lire :

> *"> Traçabilité : l'ubiquité des nanotechnologies, c'est-à-dire leur dissémination massive combinée avec la possibilité d'interagir à distance avec des objets communicants, pourrait étendre considérablement les capacités de collecte de données personnelles. Ceci permettrait d'obtenir une connaissance étendue des déplacements des personnes ainsi que de leurs habitudes de vie et de comportement. Comment s'assurer que le développement de ces technologies ne se fera pas au prix d'une " hyper-traçabilité "des personnes, remettant en question leur liberté d'aller et venir ? Car cette liberté n'existe plus si l'anonymat n'est pas garanti !" (CNIL)*

Concernant la sécurité des données, la CNIL écrit aussi :

"> Perte de maîtrise : le déploiement de nano-objets s'échangeant des données, voire même de poussières intelligentes se connectant à l'Internet des Objets, laisse d'ores et déjà entrevoir les difficultés de chacun à maîtriser les informations le concernant. Comment l'individu pourra-t-il avoir accès à ses données et en contrôler l'usage ? Comment recenser et réguler les applications " nanotechnologiques " ? Comment s'assurer du respect du droit à l'oubli et du silence des puces ? En outre, " l'intelligence "des nano-objets, c'est-à-dire techniquement leur logique programmée, les expose à un risque de détournement par l'altération de leur fonctionnement et donc de leur finalité. À l'instar des ordinateurs traditionnels, les nano-machines seront vraisemblablement victimes de virus et autres logiciels malveillants. En outre, les nano-objets induiront des bouleversements dans la gestion des communications du fait de la dilution de l'intelligence dans l'environnement. Ceci pourrait avoir pour conséquence une difficulté croissante à identifier l'origine d'une action ou d'une faille de sécurité. Comment garantir la sécurité de manière à instaurer la confiance dans les nanotechnologies ?" (CNIL)

Les problèmes de sécurité des données et de contrôle avaient de plus été relevés par les élèves lors de la préparation du jeu de rôle. Dans l'un des tableaux de préparation du jeu de rôle, dans la case "Quelles positions l'acteur défend-il ?", les élèves avaient ainsi noté :

"Le développement des nanotechnologies pourrait entrainer une révolution, comparable à celle d'internet. Ce developpement peut entraîner des problèmes de tracabilité qui remettrait en cause la liberté des gens."

et dans la case "Arguments pour étayer ses positions" elles avaient aussi inscrit :

"*Invisibilité : les puces sont de + en + petite, on ne peut pas vraiment les distinguer.*

traçabilité : les nanotechnologies sont disseminées partout et peuvent être controlées à distance ce qui peut entrener une augmentation des collectes de données personnelles.

Perte de maîtrise : le développement des nanotechnologies peut prendre de l'empleur et ne peut plus être controlé (problèmes de sécurités)"

Ainsi en parlant de puces pouvant être utilisées pour contrôler les gens, l'élève se réfère à ce qu'elle et son groupe avaient noté en préparation du jeu de rôle.

Dans la réplique 60, l'élève estime aussi que l'utilisation de puces pour contrôler les gens pourrait porter atteinte au code civil.

La référence au droit et au code civil est bien présente dans le cahier d'acteur de la CNIL puisqu'il y est écrit :

"Notre droit assure certes déjà une protection effective des personnes face au développement des nouvelles technologies, qu'il s'agisse des lois de bioéthique, du code civil ou de la loi informatique et libertés. Mais cette protection est-elle suffisante ?" (CNIL)

Cependant, la CNIL ne se réfère pas au code civil de la même manière que l'élève-actrice. La CNIL s'interroge en effet sur l'adéquation du droit aux développements des nanotechnologies quand l'élève représentant cette autorité administrative estime que les utilisations des puces pourraient porter atteinte au code civil.

Enfin la terminologie de code civil ne figure sur aucune de fiches remplies par les élèves en préparation du jeu de rôle.

L'élève termine ensuite son intervention en déChloént :

"Le fait que ce soit dans le cerveau, on peut les... contrôler et..."

Là encore, le mot cerveau n'apparaît pas dans les fiches remplies par les élèves en préparation. Il n'est pas non plus employé dans la CNIL dans son cahier d'acteur. L'élève se réfère donc sans doute ici aux éléments avancés par l'élève représentant le CENG et ré-ouvre la discussion sur le développement des nanotechnologies en neurologie.

Suite à cette intervention de l'élève représentant la CNIL, l'élève qui a étudié le cahier d'acteur de l'Association Française Transhumaniste se manifeste. Rebondissant sur l'idée de contrôle, elle commence par discuter du rôle de l'État dans le développement des nanotechnologies.

61	Béné - Gestionnaire du débat	*(Aurélie - Transhumanistes lève la main)* Donc, ouais allez-y
62	Aurélie - Transhumanistes	Oui mais, je veux dire, enfin ces nanotechnologies... enfin on le fait dans un système qui est contrôlé, dans quelque chose qui est fait par l'État et euh et donc l'État il va pas dire "contrôlez les gens" comme çà. Moi je pense qu'il faut qu'il y ait des test faits et quand on trouve des résultats positifs, je pense qu'il faut avancer dans cette voie.

Dans le cahier d'acteur de l'Association Française Transhumnaiste, le terme et la notion de contrôle apparaissent dans la citation suivante :

> *"Les débats en cours tentent de trouver un équilibre entre les possibilités portées par ces technologies et les exigences de contrôle et de précaution que nécessite l'arrivée de produits totalement nouveaux, dont on ne sait encore presque rien en terme de nocivité pour l'homme et son environnement." (AFT)*

Ils figurent aussi dans le paragraphe de synthèse lorsque l'AFT se déclare favorable :

> *"aux contrôles nécessaires lors des recherches, et dans tout processus en amont de la dissémination." (AFT)*

L'assertion de l'élève-actrice selon laquelle les nanotechnologies seraient développées "dans un système qui est contrôlé" ne figure donc pas vraiment dans le cahier d'acteur de l'Association Française Transhumaniste puisque cette organisation ne fait que relater l'existence de débats cherchant un équilibre entre contrôle et précaution d'une part et développement des nanotechnologies d'autre part.

Par ailleurs le seul endroit du cahier d'acteur de l'Association Française Transhumaniste où il est fait plus particulièrement référence au contrôle de l'État, c'est dans le cadre de l'utilisation des nanotechnologies pour modifier l'Humain. Cette organisation écrit alors :

> *"Cette nouvelle révolution porte également sur les modifications possibles des individus. Se pose alors la question de la liberté accordé à ces derniers et du degré de contrôle exercé par l'Etat. Considérons nous que l'Etat doit légiférer et décider du corps des individus ?" (AFT)*

Ainsi, lorsque l'élève-actrice dans la réplique 62 s'exclame "l'État il va pas dire "contrôlez les gens" comme çà !", elle ne répercute pas ce que dit l'Association Française Transhumaniste ici. Les élèves n'avaient en outre rien noté sur le rôle de l'État sur leurs fiches de préparation du jeu de rôle.

Enfin dans la dernière partie de son intervention l'élève prend position en faveur de la réalisation de "tests", puis du développement des nanotechnologies :

> *"Moi je pense qu'il faut qu'il y ait des test faits et quand on trouve des résultats positifs, je pense qu'il faut avancer dans cette voie."*

Le terme de test est vague et l'élève ne précise pas à quoi il renvoie. Toutefois cette allégation est peut-être inspirée du cahier d'acteur de l'AFT où l'on peut lire :

> *"Bien entendu, pour longtemps encore, il est hautement probable que la pensée humaine demeure liée au corps - plus ou moins celui que nous connaissons. Il sera donc nécessaire de préserver les équilibres dont ces corps dépendent : une planète viable, une ou des sociétés humaines suffisamment stables et dynamiques à la fois.*
> *Notons bien qu'il n'y a pas urgence. L'Humanité n'est pas menacée au point d'avoir à tout prix besoin que ces technologies soient développées le plus vite possible quitte à prendre les plus grands risques." (AFT)*

ou encore :

> *"> Oui aux nanotechnologies dans tous les domaines, sans aucun tabou.*
> *> Oui aux contrôles nécessaires lors des recherches, et dans tout processus en amont de la dissémination.*
> *> Oui à la recherche systématique du recyclage en aval." (AFT)*

Par ailleurs, les élèves étudiant le cahier de l'Association Française Transhumaniste avaient noté en préparation dans la rubrique "quelles positions l'acteur défend-il ?" :

> *"Technoprog ! est pour le devellopement des nanotechnologies sans pour autant être dans l'urgence ; nous devons être guider par les impératifs écologiques, sociaux, et politiques"*

Le point de vue défendu ici par l'élève selon lequel l'Association Française Transhumaniste serait pour le développement des nanotechnologies, une fois que des "tests" auraient été faits, nous semble donc inspiré par ces éléments notés en préparation, eux-mêmes inspirés du cahier d'acteur.

C'est alors au tour de l'élève représentant le CNRS et le CEA de solliciter la parole. Elle intervient en reprenant la terminologie floue de "tests" utilisée par l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste, pour mettre en avant les efforts des organismes de recherche qu'elle représente pour "étudier le côté éthique" et "voir les rapports avec la population".

63	Béné - Gestionnaire du débat	*(Aude - CNRS/CEA lève la main)* Ouais allez-y
64	Aude - CNRS/CEA	Pour les tests, nous au CNRS et au CEA, on... On étudie beaucoup le côté éthique et on, on essaye de voir euh les rapports avec la population et tout ça, donc c'est pas... C'est quelque chose en voie de développement et je pense que ça ira de mieux en mieux... Et que c'est pas une, un gros problème. On essaye d'évoluer avec les gens concernés.

Dans le cahier d'acteur du CNRS et du CEA, le mot "d'éthique" apparaît notamment dans la citation suivante :

> *"Les bénéfices ou les risques qui pourraient en découler ont amené les deux organismes à s'engager dans une approche responsable. La sécurité, comme les préoccupations éthiques et le dialogue avec la société, sont des éléments de cette approche." (CNRS / CEA)*

L'élève-actrice parle par ailleurs de "rapport avec la société" ou "d'évolution avec les gens concernés" plutôt que de "dialogue avec la société". Néanmoins, elle nous semble retraduire

dans son intervention deux des aspects que ces organismes de recherche mettent en avant lorsqu'ils soulignent leur "approche responsable" du développement des nanotechnologies.

En déChloént que "c'est quelque chose en voie de développement", l'élève répercute en outre l'idée que le CNRS et le CEA seraient en train, aujourd'hui, d'œuvrer en ce sens. Cette impression d'un processus en cours apparaît aussi dans le cahier d'acteur où il est écrit :

> *"Les organismes de recherche s'engagent à évaluer et maîtriser les risques, à étudier les effets des nanotechnologies sur l'homme et sur la société et enfin à renforcer les échanges entre scientifiques et citoyens. Ils travaillent ainsi sur les points suivants : (...)*
>
> *> la réflexion sur une éthique à construire, avec l'aide de philosophes et en complément des cadres légaux existants (expérimentation humaine, expérimentation animale, informatique et liberté...). L'éthique désigne l'ensemble des valeurs et principes qui régissent l'action individuelle et collective. La responsabilité est une des notions éthiques fondamentales. Elle éclaire la plupart des choix (de la maîtrise des risques au principe de précaution) ;*
>
> *> l'analyse des répercussions possibles des innovations sur la société : usages nouveaux, développement durable, risques d'injustice sociale ;*
>
> *> le dialogue avec la société, formation des personnes. Les deux organismes échangent avec le public, préoccupé et demandeur d'information." (CNRS-CEA)*

L'élève-actrice s'exprime donc ici de manière cohérente avec le contenu du document qu'elle a étudié en préparation. Ces éléments avaient d'ailleurs été relevés par les élèves en amont du jeu de rôle. Dans la rubrique arguments pour étayer la prise de position qu'elles ont intitulé "moins de risques liés aux "nano"" les élèves ont noté :

> *"- Evaluation des risques pour la sécurité des personnes*
> *- Réflexion sur l'éthique*
> *- Annalyse des répercutions possibles sur la société*
> *- Dialogue avec la société, formation des personnes"*

Par ailleurs, sur la fiche où les élèves devaient classer les arguments de l'acteur par ordre d'importance, elles ont rangé en dernier l'aspect *"Ethique (évaluation des risques)"*. Les élèves expliquent leur choix de classement de la manière suivante :

> *"La recherche est la raison de la création du CEA et du CNRS donc du débat. Donc le n°1.*
>
> *- Le côté économique est aussi important car c'est grace à leur croissance ils obtiennent des subventions. De plus l'avancée dans l'économie mondiale et la création d'emploi participe à "l'elite" française.*
>
> *- Le moins important, semble le coté éthique qui a été mis en place plus récemment.*
>
> *Néanmoins, de notre point de vue, l'éthique devrait être plus important que l'économie car c'est le lien direct avec la population. Ça nous met en confiance."*

En soulignant les efforts du CNRS et CEA pour développer une réflexion éthique et de voir "les rapports avec la population", l'élève-actrice introduit donc dans le jeu de rôle des éléments présents dans le cahier d'acteur qu'elle et son groupe avaient discuté en préparation.

Suite à cette intervention de l'élève-actrice représentant le CNRS et le CEA, l'élève de la CNIL répond en demandant qu'un encadrement réglementaire soit mis en place.

64	Aude - CNRS/CEA	Pour les tests, nous au CNRS et au CEA, on... On étudie beaucoup le côté éthique et on, on essaye de voir euh les rapports avec la population et tout ça, donc c'est pas... C'est quelque chose en voie de développement et je pense que ça ira de mieux en mieux... Et que c'est pas une, un gros problème. On essaye d'évoluer avec les gens concernés.
65	Diana - CNIL	Oui, mais je pense qu'il manquerait des règles, qu'il faudrait faire un code, instaurer un code, des règles pour pas que les libertés soient supprimées et... la population...

L'élève représentant la CNIL utilise ici des éléments issus du cahier d'acteur qu'elle a étudié où l'on peut lire :

– d'une part à propos de l'établissement de règles :

> *"Mais au-delà, ne serait-il pas souhaitable d'établir dès à présent une série de postulats et de règles, inspirés des principes de protection des données et de ceux consacrant l'intégrité du corps humain ?" (CNIL)*

– et d'autre part à propos de protection des libertés :

> *"Bon nombre d'applications annoncées des nanotechnologies impliquent des traitements de données à caractère personnel. Cela amène naturellement à s'interroger au sujet des nouveaux enjeux qu'elles soulèvent en termes de protection de la vie privée et des libertés individuelles, ainsi qu'à propos des garde-fous à prévoir et de la capacité du cadre législatif actuel à répondre à ce nouveau défi technologique." (CNIL)*

Cette demande de mise en place d'une régulation adaptée pour protéger les libertés, avait d'ailleurs été repérée par les élèves au moment où elles préparaient le jeu de rôle puisqu'elles avaient alors écrit dans la rubrique "recommandation que l'acteur formule" :

> *"l'auteur souhaiterait établir une série de postulats et de règles permettant de garantir la liberté et la vie privée des personnes".*

Cette intervention de l'élève représentant la CNIL est ensuite suivie par une nouvelle prise de parole de l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste.

Cette élève commence par ré-affirmer le soutien de l'association qu'elle représente, au développement des nanotechnologies. Elle argumente ce point de vue en soulignant que les nanotechnologies peuvent être "une très bonne chose" à la condition qu'on "instaure une loi" et qu'on en parle sans tabou.

66	Béné - Gestionnaire du débat	*(Aurélie - Transhumanistes lève la main)* Oui, allez-y.
67	Aurélie - Transhumanistes	Moi je pense qu'il y a trop encore de tabou aujourd'hui sur les nanotechnologies comme on voit tous les films de science fiction, et donc la population, elle a un peu peur de ce, de ce que peut devenir ces nanotechnologies mais si on fait comme la dame vient de le dire, on instaure une vraie loi, ou on en parle, ouvertement sans tabou, je pense que ça peut vraiment être une très bonne chose, pour notre société.
68	Béné - Gestionnaire du débat	Par sans tabou, qu'est-ce que vous entendez ?
69	Aurélie - Transhumanistes	Bah par exemple, quand, quand quelqu'un est malade et que il a comme là *(montrant Cécilia - CENG)* (*incompréhensible*) en neurologie. Euh, hé ben actuellement il y a encore des soucis pour en parler. Oui euh, j'ai un micro-robot dans le cerveau, ça le fait pas trop quand on parle de ça donc je pense qu'il faut qu'on en parle de plus en plus pour que les tabous de la robotisation disparaissent.
70	Béné - Gestionnaire du débat	Donc vous, vous plaidez en faveur de ça, de l'utilisation de ces, de ces
71	Aurélie - Transhumanistes	et c'est pour ça, nous on consiste à parler aux gens de ce débat, et euh... pour que à la fin, il y ait un réel travail fourni par l'État, qu'on puisse en parler et le faire sans que, sans tabou.

L'assertion que les nanotechnologies peuvent être une bonne chose pour la société nous semble cohérente avec le contenu du cahier d'acteur de l'Association Française Transhumaniste où il est par exemple écrit :

> *" le développement des nanotechnologies est souhaitable dans la mesure où il participe à l'augmentation des possibilités de l'humanité, où il contribue à perpétuer son existence et sa pensée. " (AFT)*

Néanmoins l'élève-actrice reste assez vague dans son argumentation : elle déclare que les "nanotechologies pourraient être une très bonne chose" sans détailler ce que l'association qu'elle représente entend par là.

On peut par ailleurs trouver des éléments dans le cahier d'acteur de l'AFT qui sont peut-être à l'origine des deux conditions que l'élève représentant l'AFT mentionne ("instauration d'une vraie loi" et levée des tabous) moyennant quoi les nanotechnologies pourraient être bénéfiques.

Ainsi lorsqu'elle invoque "l'instauration d'une vraie loi" , on peut lire à propos d'encadrement des nanotechnologies :

> *"> Oui aux contrôles nécessaires lors des recherches, et dans tout processus en amont de la dissémination."*

Cette prise de position a peut-être conduit l'élève à s'exprimer de la sorte. Toutefois, l'AFT écrit aussi

> *"Cette nouvelle révolution porte également sur les modifications possibles des individus. Se pose alors la question de la liberté accordé à ces derniers et du degré de contrôle exercé par l'Etat. Considérons nous que l'Etat doit légiférer et décider du corps des individus ?" (Cahier de l'AFT)*

Ici il nous semble que l'AFT a tendance à douter que la réponse à cette question soit positive puisqu'elle écrit ensuite :

> *"Donc, les Transhumanistes français proposent de considérer que l'on peut assumer les responsabilités qui accompagnent les nouvelles possibilités offertes, que l'on peut chercher l'équilibre entre la liberté des individus concernant leur corps et l'effet des modifications sur la société ;" (AFT)*

Cependant, comme l'élève ne précise pas ce sur quoi porterait cette "loi", il est ici difficile de savoir si elle s'appuie sur l'un de ces extraits dans la réplique 67.

La demande que l'élève formule sur la levée d'un certain nombre de tabous fait par ailleurs écho au contenu du cahier d'acteur. Le terme de tabou que l'élève emploie figure notamment dans les dernières lignes, consacrées à la synthèse des positionnements de cette organisation.

> *" Oui aux nanotechnologies dans tous les domaines, sans aucun tabou. " (AFT)*

Toutefois, le rapport entre les tabous que dénonce l'AFT et l'allusion à "la peur de la population" n'apparaît pas de manière évidente dans le cahier d'acteur. La référence aux scénarios de science fiction mais aussi aux craintes de la population y sont présents :

> *" D'autres expriment toutes les craintes, voire les phobies possibles face à ce qui peut être vécu comme un nouvel outrage à la Nature. Ils Thibaultbent dans l'excès du catastrophisme. "*
>
> *" Dans le cas des matériaux, nous pourrions citer - côté optimiste, les projets de dépollution des hydrocarbures, ou - côté catastrophiste, le scénario de science-fiction de la "gelée grise"auto-répliquante à l'infini et susceptible de tout envahir. " (AFT)*

Cependant, comme le montrent ces extraits, ni "*les craintes*", ni les scénarii catastrophistes ne sont mis en lien avec l'idée de tabous. L'élève semble donc rapprocher ici ces éléments alors que l'AFT n'établissait pas de lien explicite entre eux dans son cahier d'acteur. Par ailleurs si l'on s'intéresse à l'argumentation de l'élève-actrice au travers de cette réplique 67, la reconstitution du schéma argumentatif tel qu'il apparaît sur la figure 18.4 montre que les propositions sur la peur de la population et les films de science fiction semblent sans rapport évident avec le reste de son argumentation. En ce sens, l'argumentation de l'élève-actrice nous paraît violer la règle de discussion critique : "Une partie ne peut défendre son point de vue qu'en avançant une argumentation relative à ce point de vue" par un paralogisme de type *"ignoratio elenchi"*.

Amenée ensuite à expliciter ce qu'elle entend par tabou par la gestionnaire de débat, l'élève déclare :

> *"Bah par exemple, quand, quand quelqu'un est malade et que il a comme là* (montrant Cécilia - CENG) *(*incompréhensible*) en neurologie. Euh, hé ben actuellement il y a encore des soucis pour en parler. Oui euh, j'ai un micro-robot dans le cerveau, ça le fait pas trop quand on parle de ça donc je pense qu'il faut qu'on en parle de plus en plus pour que les tabous de la robotisation disparaissent."*

L'élève semble ici s'inspirer du contenu du cahier d'acteur de l'AFT. Certes les termes de "malade", de "cerveau" et de "neurologie" ne figurent pas dans ce document, cependant, la référence aux utilisations des nanotechnologies en médecine est présente. L'AFT mentionne en particulier les applications pour améliorer les capacités cognitives :

> *" Nanomédecine tout d'abord (thérapies pratiquées par des nanorobots injectés dans l'organisme, médicaments délivrés par nanocapsules) avec pour conséquence possible un allongement encore important de l'espérance de vie, mais bientôt, nano augmentations de tous ordres, grâce à des nano implants, afin d'améliorer les capacités motrices, perceptives ou cognitives du corps ou du cerveau. " (AFT)*

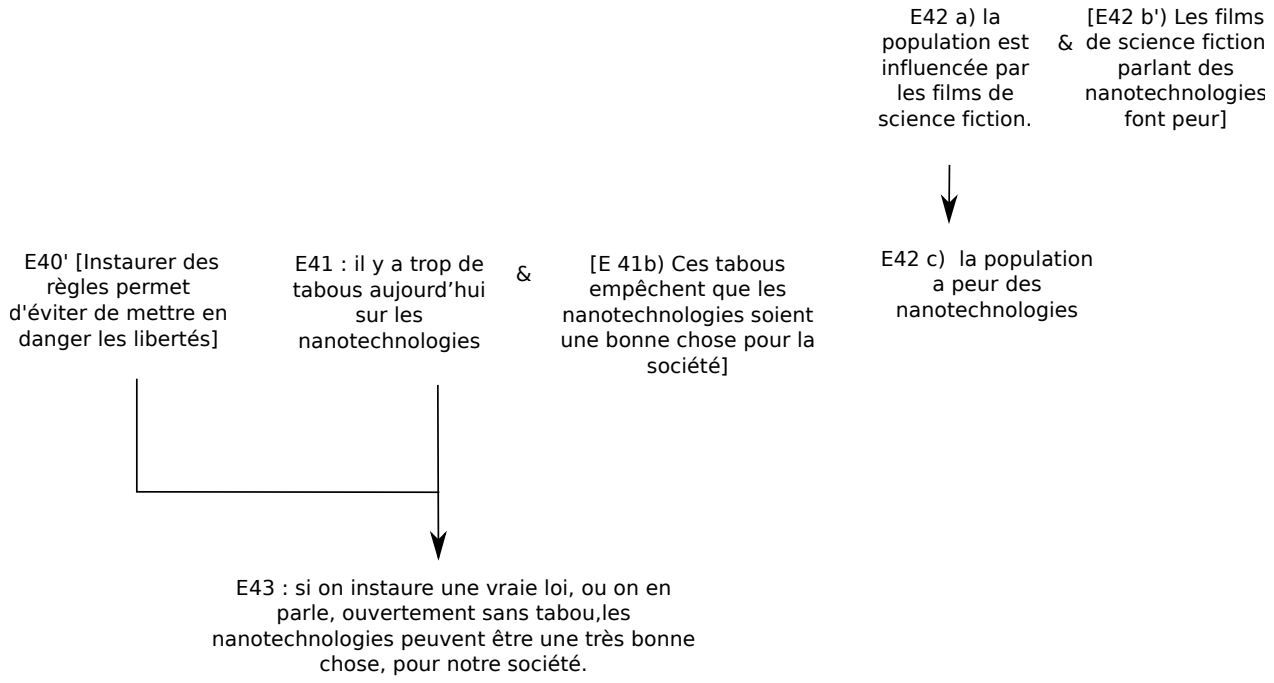


FIGURE 18.4 – Argumentation de l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste au tour de parole 67.

Ainsi, l'allusion aux nanorobots figure bien explicitement dans le cahier de l'AFT. Il n'est par contre pas écrit que les gens qui bénéfieraient de ces implants robotisés rencontreraient des difficultés à en parler.

Toutefois, l'AFT estime effectivement que peu de gens abordent les questions essentielles que posent les nanotechnologies comme *" pourquoi avons-nous besoin des nanotechnologies ?"*. Cette association répertorie alors plusieurs interrogations :

> *" La Convergence Technologique ne nous questionne pas seulement sur ce que seront les bons choix politiques ou économiques, sur ce qui permettra de respecter les équilibres écologiques ou sur ce qui garantira le mieux la santé publique. La phase d'accélération dans laquelle nous nous trouvons d'ores et déjà engagés nous pousse à nous interroger sur des sujets qui mettent en question notre identité en tant qu'êtres humains :*
>
> *> Par les modifications qu'elle permet, cette phase d'accélération remet en cause des valeurs culturelles liées à ce que sont la Nature, l'Humain et l'Humanité. Ainsi, sommes-nous amenés à nous demander à nouveau s'il existe une ou des caractéristiques propre à l'humain, et si oui quelles sont-elles ? ou encore, Qu'est-ce vraiment que l'état de Nature ?" (AFT)*

Il nous semble donc que l'AFT considère que ces questions ne sont pas posées ou peu discutées. Finalement, lorsque l'élève explique *" qu'il faut que les tabous de la robotisation disparaissent "* elle nous paraît dans une certaine mesure s'inspirer du contenu du cahier d'acteur.

Enfin, l'élève-actrice achève son intervention en disant :

> *"et c'est pour ça, nous on consiste à parler aux gens de ce débat, et euh... pour que à la fin, il y ait un réel travail fourni par l'État, qu'on puisse en parler et le faire sans que, sans tabou."*

De nouveau, comme lorsque l'élève-actrice formulait la demande de "l'instauration d'une vraie loi", il est difficile de savoir à quoi se rapporte ce "réel travail fourni par l'État". Néanmoins,

comme nous l'avons déjà souligné, la seule référence explicite à l'État dans le cahier d'acteur de l'AFT questionne le bien-fondé d'une législation qui limiterait le droit des individus à disposer de leur corps pour le modifier.

Finalement au travers de ces différentes prises de paroles, l'élève-actrice représentant la CNIL commence par préciser un peu ce qu'elle disait lorsqu'elle avait affirmé que les nanotechnologies étaient "néfastes" car elles permettaient de "contrôler les gens". Elle parle de puces, de contrôle et de problèmes de sécurité qui sont autant d'éléments présents dans le cahier d'acteur de la CNIL et qu'elle et son groupe avaient noté en préparation. Toutefois son intervention reste ici assez générale. Elle parle aussi d'atteinte au code civil dont la CNIL ne dit rien, bien que la terminologie de code civil figure dans son cahier d'acteur lorsqu'elle s'interroge sur l'adéquation du droit actuelles aux usages des nouvelles technologies.

Son intervention suscite une réaction de l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste qui réfute que l'État puisse décider subitement de contrôler les individus. Elle introduit alors dans la discussion une réflexion sur le rôle de l'État qui ne figurait pas dans son cahier d'acteur. Puis, elle ré-affirme son soutien aux développements des nanotechnologies une fois que des "tests" auraient été faits.

Là, rebondissant sur le terme de "tests", l'élève représentant le CNRS et le CEA intervient. Reprenant des éléments que ces organismes de recherches mettent en avant lorsqu'ils présentent leur "approche responsable" des développements des nanotechnologies, l'élève-actrice souligne l'intérêt du CNRS et du CEA pour "le côté éthique" et les "rapports avec la population".

L'élève représentant la CNIL reprend alors la parole. Mobilisant des éléments issus de son cahier d'acteur, elle plaide pour l'instauration de règles pour encadrer les nanotechnologies. L'élève représentant l'Association Française Transhumaniste intervient à son tour de nouveau. Elle reprend le terme de tabou qui figure dans son cahier d'acteur et déclare que si l'on parlait des nanotechnologies sans tabou et que l'on mettait en place une "vraie loi", les nanotechnologies pourraient être une très bonne chose. Elle s'inspire ici d'éléments contenus dans le cahier d'acteur qu'elle a étudié sans y coller parfaitement. En particulier, si l'AFT se déclare en faveur de *"contrôles nécessaires lors des recherches",* la mention d'une législation n'intervient dans son cahier que lorsqu'elle s'interroge sur la liberté que doit laisser l'État aux individus de disposer de leur corps. Cette organisation ne semble alors pas spécialement en faveur d'un encadrement législatif restreignant cette liberté.

Enfin dans ces dernières prises de paroles, l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste évoque aussi les craintes de la population et les scénarios de science-fiction qu'elle semble mettre en rapport avec l'idée de tabou. Elle utilise alors des éléments figurant dans son cahier d'acteur qui n'étaient toutefois pas mis en lien dans ce document. La référence à ces éléments semble par ailleurs déconnectée au reste de son argumentation.

Passé ces interventions, le thème de la discussion change et les élèves abordent les questions liées à la toxicité des nanoparticules.

18.3.4 Risques sanitaires, environnementaux et la gestion de ces risques

Le premier élève à s'intéresser de nouveau aux problèmes de toxicité, après que l'élève représentant l'INRS les aient esquissés au tout début du jeu de rôle, a été l'élève-acteur représentant la Fondation Sciences Citoyennes. Il revient ainsi sur les connaissances en matière de toxicité des nanoparticules et des risques, qu'il qualifie d'insuffisantes.

74	Béné - Gestionnaire du débat	(Thomas - Sciences Citoyennes lève la main) Oui allez-y, Monsieur de Sciences Citoyennes

75	Thomas - Sciences Citoyennes	Moi je pense qu'on peut pas savoir et donc les connaissances qu'on a des risques, ne serait-ce que de la toxicité par exemple des nanoparticules sont assez, sont très insuffisantes comparées à la, à l'utilisation qu'on en fait (?) et donc c'est pas évident de développer encore euh des utilisations qu'on en fait sans connaitre les risques qui vont avec.
76	Béné - Gestionnaire du débat	Ouais... Alors oui donc vous allez plus dans le sens de la dame de l'INRS ou euh ?
77	Thomas - Sciences Citoyennes	Oui, mais plus dans le général, parce que c'est vrai que dans le cas de traitements des maladies dégé...
78	Béné - Gestionnaire du débat	Dégénératives, oui,
79	Thomas - Sciences Citoyennes	c'est vrai que c'est pas forcément une bonne idée *(? - l'élève parle dans sa barbe)* si on part du principe que la personne est déjà condamnée. Mais dans le cas général...

En préparation du jeu de rôle, le groupe d'élèves étudiant le cahier de la Fondation Sciences Citoyennes avaient relevé des éléments que l'on retrouve dans les propos de leur représentant. Ainsi, à la question "Quelles positions l'acteur défend-il ?", ils avaient noté :

"Le manque de connaissances de la toxicité éventuelle des nanotechnologie"

Par contre, le terme "d'utilisations" n'apparaît pas dans les fiches remplies par le élèves. Néanmoins, dans la case "arguments pour étayer ses positions" associé à la position énoncée ci-dessus, les élèves avaient écrit :

"Il y a déjà énormément de nanotechnologies dans le commerce aujourd'hui".

On peut de plus lire dans l'un des tableaux de préparation du jeu de rôle, en face de la question "Quelles positions l'acteur défend-il ?" :

"*L'état n'applique pas le principe de précaution*"

Par ailleurs, si l'on va rechercher dans le cahier d'acteur les traces des contenus mis en avant par l'élève-acteur représentant la Fondation Sciences Citoyennes, on trouve qu'il y est écrit :

> *"Faute d'avoir développé des méthodes adéquates d'évaluation, nous n'avons pas de connaissances sur la toxicité de ces produits qui sont pourtant disséminés depuis dix ans, en particulier dans l'alimentation." (FSC)*

ou encore

> *"La maîtrise de ces technologies ne peut qu'accroître le pouvoir de ceux qui les détiennent au détriment des autres, et leur commercialisation incontrôlable conduira inévitablement à de nouveaux monopoles, sans compter qu'aujourd'hui, on est incapable de déterminer les risques et encore moins les dangers que représentent ces objets pour l'environnement et la santé humaine.*" (FSC)

L'idée que les connaissances sur la toxicité des nanoparticules sont insuffisantes au regard des utilisations qui en sont faites, est donc bien présente dans le cahier d'acteur de la Fondation Sciences Citoyennes. L'élève mobilise donc des éléments issus de ce document dans la réplique 75, même si sa prise de position au travers de la phrase :

"donc c'est pas évident de développer encore euh des utilisations qu'on en fait sans connaitre les risques qui vont avec."

est un peu floue.

En revanche, pour les répliques suivantes (77 et 79) où l'élève fait référence aux maladies neurodégénératives, c'est à dire à des éléments apportés dans la discussion par l'élève du CENG, il n'y a rien qui se rapporte à des précisions spécifiques aux applications des nanotechnologies pour traiter ces pathologies, ni dans le cahier de la Fondation Sciences Citoyennes, ni dans les fiches remplies par les élèves en préparation du jeu de rôle.

Cette intervention sur les questions de toxicité fait réagir l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste. Tout en ré-affirmant sa prise de position en faveur du développement des nanotechnologies, elle met de nouveau l'accent d'une part sur la réalisation de "tests" préalables ou parallèles à la poursuite des recherches, et d'autre part, sur la publicisation de ces travaux.

80	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord. *(Aurélie - Transhumanistes lève la main).* Vous voulez réagir là dessus ?
81	Aurélie - Transhumanistes	Nan mais je ne dis pas qu'il faut aller de l'avant et euh tout essayer sans euh, sans faire des tests. Au contraire, je pense qu'il faut, qu'il faut en parler et tout ça et d'un autre côté, enfin en parallèle, la médecine elle doit faire des recherches et essayer de trouver des moyens de *(Aude - CNRS/CEA lève la main)* d'évaluer les conséquences et euh donc voilà, pas avancer trop vite pas pour prendre (incompréhensible)

Nous avons déjà souligné que, dans son cahier d'acteur, l'Association Française Transhumaniste se déChloéit favorable aux développements des nanotechnologies puisque cette organisation écrit par exemple

"> Oui aux nanotechnologies dans tous les domaines, sans aucun tabou." (AFT)

Elle affiche aussi son attachement aux "contrôles" tout au long du processus de recherche.

"> Oui aux contrôles nécessaires lors des recherches, et dans tout processus en amont de la dissémination." (AFT)

"Aller de l'avant" et "faire des tests" sont donc des recommandations que formule l'Association Française Transhumaniste dans son cahier d'acteur.

Toutefois, les termes de "parler", mais aussi de "débattre", d' "informer", de "rendre publique" ou d' "échanger" ne figurent pas dans ce document. L'injonction "il faut parler des nanotechnologies" n'y est donc pas explicite.

Enfin, l'élève fait aussi allusion au rôle particulier de la médecine lorsqu'elle déclare :

"la médecine elle doit faire des recherches et essayer de trouver des moyens de, d'évaluer les conséquences et euh donc voilà, pas avancer trop vite pas pour prendre (incompréhensible)"

Comme nous l'avons déjà relevé, le cahier d'acteur de l'Association Française Transhumaniste recèle des considérations sur la médecine.

"Concernant l'Humain, les projets ne manquent pas non plus : Nanomédecine tout d'abord (thérapies pratiquées par des nanorobots injectés dans l'organisme, médicaments délivrés par nanocapsules) avec pour conséquence possible un allongement encore important de l'espérance de vie, mais bientôt, nano augmentations

de tous ordres, grâce à des nano implants, afin d'améliorer les capacités motrices, perceptives ou cognitives du corps ou du cerveau. De telles perspectives amènent à s'interroger sur les conséquences, négatives ou positives d'une éventuelle diversification de l'espèce." (AFT)

Cependant, le développement des recherches en médecine que l'AFT évoque dans son cahier, nous semble concerner les applications des nanotechnologies plutôt que des recherches en toxicologie des nanoparticules. C'est aussi le cas dans les fiches de préparation du jeu de rôle remplies par les élèves. Ils y ont noté quelques éléments relatifs au développement des recherches en médecine sans que celles-ci soient spécifiquement consacrées aux risques. Ainsi sur la feuille dédiée à la hiérarchisation des aspects abordés par l'acteur, les élèves ont écrit en deuxième position :

"Devellopement nanotechnologies au niveau de la médecine
↪ amélioration de la santé globale de l'humanité"

Les raisons qu'ils mettent en avant pour justifier ce choix sont

"C'est important d'avoir une humanité en bonne santé.
Recherche de progrès (maladies graves)"

Les recherches en médecine qu'ils mentionnent ne relèvent donc pas a priori du domaine de la toxicologie.

En revanche, l'idée de pas avancer trop vite est quelque chose que les élèves avaient relevé sur leurs fiches de préparation. Ainsi, ils ont noté comme phrase résumant la position de l'association Française Transhumaniste :

"Technoprog ! est pour le devellopement des nanotechnologies sans pour autant être dans l'urgence ; nous devons être guider par les impératifs écologiques, sociaux, et politiques"

Cette phrase notée par les élèves nous semble s'inspirer du passage du cahier d'acteur de l'AFT suivant :

"Donc, les Transhumanistes français proposent de considérer que l'on peut assumer les responsabilités qui accompagnent les nouvelles possibilités offertes, que l'on peut chercher l'équilibre entre la liberté des individus concernant leur corps et l'effet des modifications sur la société ; que l'on peut enfin assumer la diversité des individus composants une société de tolérance.

Bien entendu, pour longtemps encore, il est hautement probable que la pensée humaine demeure liée au corps - plus ou moins celui que nous connaissons. Il sera donc nécessaire de préserver les équilibres dont ces corps dépendent : une planète viable, une ou des sociétés humaines suffisamment stables et dynamiques à la fois.

Notons bien qu'il n'y a pas urgence. L'Humanité n'est pas menacée au point d'avoir à tout prix besoin que ces technologies soient développées le plus vite possible quitte à prendre les plus grands risques." (AFT)

L'AFT se prononce donc bien en faveur des nanotechnologies en particulier pour intervenir sur l'Humain tout en soulignant qu'il serait inutile de les développer dans la précipitation. L'élève, en soulignant l'absence d'urgence, mobilise donc ici un élément du cahier d'acteur.

Comme précédemment dans la discussion, après que l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste ait évoqué la nécessité de "faire des tests", l'élève-actrice représentant le CNRS et le CEA demande la parole. Elle revient cette fois-ci de manière plus générale sur la question des recherches sur "les risques liés aux nanotechnologies" et met alors en avant les travaux en la matière menés au sein de ces organismes de recherche.

82	Béné - Gestionnaire du débat	*(Aude - CNRS/CEA et Mathieu - FEBEA lèvent la main)* D'accord, peut-être elle avait levé la main...
83	Aude - CNRS/CEA	Quand vous dites, vous parlez d'insuffisances de connaissances. Ceci dit (?) c'est un secteur vraiment en plein développement et nous sommes, nous faisons énormément de recherches sur les risques liés aux nanotechnologies. *(Thomas - Sciences Citoyennes lève la main)*

Lorsque l'élève affirme ici que les nanotechnologies sont un secteur en plein développement et que le CNRS et le CEA effectuent *"énormément de recherches sur les risques"*, elle mobilise des éléments issus du cahier d'acteur qu'elle a étudié. Ainsi, si la terminologie *"secteur en plein développement"* ne figure pas textuellement dans le cahier d'acteur, on peut lire néanmoins dans ce document :

> *"Les organismes de recherche s'engagent à évaluer et maîtriser les risques, à étudier les effets des nanotechnologies sur l'homme et sur la société et enfin à renforcer les échanges entre scientifiques et citoyens. Ils travaillent ainsi sur les points suivants :*
>
> *> l'évaluation des risques liés aux nanomatériaux et leur maîtrise, tout au long de leur cycle de vie, pour la sécurité des personnes (depuis la fabrication jusqu'au recyclage)*
>
> *> la réflexion sur une éthique à construire, avec l'aide de philosophes et en complément des cadres légaux existants (expérimentation humaine, expérimentation animale, informatique et liberté...). L'éthique désigne l'ensemble des valeurs et principes qui régissent l'action individuelle et collective. La responsabilité est une des notions éthiques fondamentales. Elle éclaire la plupart des choix (de la maîtrise des risques au principe de précaution) ;*
>
> *> l'analyse des répercussions possibles des innovations sur la société : usages nouveaux, développement durable, risques d'injustice sociale ;*
>
> *> le dialogue avec la société, formation des personnes. Les deux organismes échangent avec le public, préoccupé et demandeur d'information. ;" (CNRS-CEA)*

Comme nous l'avons noté précédemment, ces éléments avaient d'ailleurs été noté par les élèves lorsqu'ils préparaient jeu de rôle. Dans la case "arguments" pour étayer la prise de position "moins de risques liés aux "nano"" les élèves ont en effet écrit :

> *"- Evaluation des risques pour la sécurité des personnes*
> *- Réflexion sur l'éthique*
> *- Annalyse des répercutions possibles sur la société*
> *- Dialogue avec la société, formation des personnes"*

Ainsi en soulignant les efforts de recherches sur les risques, l'élève représentant le CNRS et le CEA porte à l'oral l'une des autres facettes de ce que ces organismes de recherches appellent leur "approche responsable".

C'est alors au tour de l'élève représentant la FEBEA de demander la parole.

Dès sa première intervention, il revient sur le cas particulier du dioxyde de titane nanométrique que l'industrie cosmétique utilise dans les crèmes solaires et auquel la FEBEA accorde une large place dans son cahier.

85	Mathieu - FEBEA	Alors nous, nous faisons des recherches pour le cosmétique et nous savons que, au niveau européen, il y a des études qui sont faites pour euh, pour vérifier la dangerosité de, de ces euh nanoparticules pour le corps humain. Euh par exemple, nous avons étudié le dioxyde de titane qui est utilisé pour euh, les crèmes solaires et euh... et il est plus efficace tout en n'étant pas dangereux. Il n'y a qu'une seule étude sur euh, sur beaucoup d'études qui ont trouvé un problème qui pourrait arriver en cas d'inhalation dans les poumons et, ce qui n'est pas le but, d'une crème solaire, et donc nous savons qu'il y a beaucoup d'études qui sont quand même effectuées avant la commercialisation
86	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord
87	Mathieu - FEBEA	Et au niveau cosmétique, euh, il y a un préavis de 6 mois avant la commercialisation d'un produit euh avec des nanotechnologies,
88	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord
89	Mathieu - FEBEA	Pour laisser le temps de faire des études justement au niveau européen
90	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord donc vous vous êtes sur les risques liés à l'utilisation des nanoparticules
91	Mathieu - FEBEA	Euh nous sommes plutôt pionniers en la matière en fait de l'étude des risques

Lors du tour de parole 85, quand l'élève affirme que des études sont réalisées au niveau européen pour évaluer la toxicité des nanoparticules pour le corps humain, il se réfère au contenu du cahier d'acteur de la FEBEA où on peut lire :

> *"Une vingtaine d'études de la pénétration percutanée du TiO_2 sous forme nanométrique dont celles menées dans le cadre du programme européen de recherche NANODERM, ont montré que le nanoTiO_2 ne pénètre pas dans les couches vivantes de la peau. Ces études ont été conduites sur différents modèles in vivo ou in vitro, après administration unique ou réitérée, sur peau saine ou altérée, en utilisant de nombreux supports formulatoires différents, sur différents types de TiO_2 (enrobé ou non, forme et taille des cristaux différents), et par des acteurs aussi différents que des industriels, des équipes de recherche académiques et des agences gouvernementales." (FEBEA)*

Par ailleurs, lorsqu'il met en avant que l'utilisation du dioxyde de titane utilisé dans les crèmes solaires est *"plus efficace"*, il reprend également des éléments que mentionnent la FEBEA dans son cahier. À propos de l'utilisation du TiO_2 dans les crèmes solaires il est en effet écrit :

> *"Ce filtre minéral est connu pour sa capacité à réfléchir, disperser et absorber les rayons ultra-violets (UV) et à protéger contre les effets délétères induits par une exposition prolongée au soleil. Il est utilisé dans les produits de protection solaire sous la forme de nano dioxyde de titane depuis bientôt 20 ans."*

"Le TiO_2 sous forme nanométrique présente un double avantage. C'est un filtre solaire plus efficace, notamment pour absorber les UV." (FEBEA)

L'élève représentant la FEBEA revient aussi sur la dangerosité du TiO_2. Il affirme que ce composé ne serait pas dangereux et qu'il n'y aurait qu'une étude qui "a trouvé un problème" lors d'expositions par inhalation. Ici encore, il s'appuie sur le cahier qu'il a entre les mains où l'on peut lire :

*"En Australie, où le gouvernement est très sensible aux questions touchant à la protection solaire et où soixante-dix pour cent des produits de protection solaire contiennent des nanoparticules de dioxyde de titane, une revue exhaustive de la littérature a été effectuée en 2006 par le Ministère de la santé. Cette revue a conclu à l'**absence de pénétration des nanoparticules de dioxyde de titane** en deçà des couches supérieures de la couche cornée de la peau. Cette conclusion a été confirmée en 2009." (FEBEA)*

"Le CIRC (Centre international de Recherche sur le Cancer, organe de l'évaluation de l'OMS) a émis l'hypothèse que le dioxyde de titane pourrait être cancérigène s'il entre en contact avec les cellules pulmonaires et l'a classé, en 2006, en 2B, carcinogène possible chez l'homme, par inhalation.

En effet, des études de cancérogenèse chez les rongeurs, dans la trachée desquels on dépose de grandes quantités de TiO2, montrent la survenue de cancers chez l'animal. A l'inverse, toutes les études chez l'homme, sauf une, ne montrent pas de surmortalité par cancer du poumon ni du rein chez les travailleurs exposés au dioxyde de titane." (FEBEA)

En déChloént qu'une seule étude a trouvé un risque par inhalation, l'élève semble se référer à ce dernier passage sur les études chez l'homme, même s'il ne précise pas à cet endroit de la discussion si les travaux qu'il mentionne s'intéressaient à la toxicité du dioxyde de titane chez le rat ou l'humain.

Par la suite, à la réplique 87, l'élève représentant les industries cosmétiques, déclare que la commercialisation de produits cosmétiques contenant des nanotechnologies donne lieu à un préavis 6 mois avant sa mise sur le marché. Ici encore, il mobilise le contenu du cahier d'acteur de la FEBEA. Il y est en effet écrit :

"Le Règlement " Cosmétiques », voté le 24 mars 2009 au Parlement européen, introduit un nouveau système d'encadrement des nanomatériaux. Il impose à toute entreprise qui souhaite commercialiser un produit contenant des nanomatériaux, d'en informer, 6 mois avant la mise sur le marché, la Commission européenne." (FEBEA)

En revanche, il n'est pas précisé que les 6 mois de préavis précédant la mise sur le marché de nouveaux nanoproduits seraient mis à profit pour effectuer des études. Il est simplement écrit que pendant ce laps de temps :

"En cas de doute, cette dernière [la commission européenne] *pourra requérir l'avis du Comité Scientifique pour la Sécurité des Consommateurs." (FEBEA)*

Enfin, dans sa dernière réplique, l'élève affirme *"nous sommes plutôt pionniers en la matière en fait de l'étude des risques"*. Ici l'élève s'écarte un peu des propos de la FEBEA. Cette fédération utilise en effet son cahier d'acteur pour insister sur le rôle de précurseur qu'elle attribue à l'industrie cosmétique, mais seulement pour ce qui concerne *"l'encadrement des nanomatériaux"* et non l'étude des risques. On peut ainsi lire en titre d'un paragraphe du cahier de la FEBEA :

L'Industrie cosmétique, pionnière de l'encadrement des nanomatériaux

ou encore

"L'Industrie cosmétique est ainsi le premier secteur économique à se doter d'un encadrement spécifique des nanomatériaux."

En estimant que cette industrie serait pionnière en matière de l'étude des risques, l'élève défend une idée différente de celle mise en avant par la FEBEA. Il nous semble d'ailleurs que les prémisses de ce glissement figuraient déjà dans les fiches de préparation du jeu de rôle. En effet, le groupe d'élèves étudiant le cahier d'acteur de la FEBEA avait répertorié sur l'un des tableaux qu'ils ont remplis :

"L'industrie du cosmétique pionnière en terme de sécurité."

Suite à la prise de parole de l'élève représentant la FEBEA sur l'utilisation du dioxyde de titane nanométrique dans les crèmes solaires, la gestionnaire de débat sollicite l'élève représentant l'INRS pour qu'elle apporte son éclairage sur les questions de toxicité des nanoparticules. Cette élève-actrice met alors en doute les conclusions de l'élève représentant l'industrie cosmétique sur l'innocuité du dioxyde de titane dans les crèmes solaires.

93	Béné - Gestionnaire du débat	Alors on a quelqu'un ici qui travaille donc sur les risques toxicologiques, de l'INRS, peut-être que vous pouvez nous en dire un peu plus sur éventuellement, sur les risques.
94	Maria - INRS	On n'est pas contre le fait de développer les nanotechnologies, mais c'est plutôt dans un but, que ce soit entre guillemets utile, même presque vital pour les personnes qui sont vraiment atteintes par exemple au niveau neurologique, mais euh, pour ce qu'il s'agit d'une crème solaire, excusez moi mais les enfants peuvent très bien l'inhaler, la crème solaire et si c'est toxique quand on inhale...

Dans sa contribution au débat public, l'INRS ne se prononce pas "pour ou contre" les nanotechnologies. Il traite de la toxicité des nanoparticules et de l'exposition des travailleurs mais ne s'exprime jamais explicitement en faveur ou en défaveur des développements des nanotechnologies. Ainsi, dès l'introduction de son cahier d'acteur, l'INRS explique :

"L'évaluation de l'exposition est un élément essentiel de l'évaluation des risques liés aux nanoparticules. Identifier les scénarios d'exposition, caractériser ce à quoi sont réellement exposées les personnes, doit être obtenu par l'intermédiaire d'études menées sur le terrain dans les entreprises ou les laboratoires. Néanmoins, c'est une tâche actuellement difficile car de nombreux instruments sont nécessaires pour obtenir les paramètres requis (composition, quantité, taille, morphologie, etc.)." (INRS)

Dans sa contribution au débat public, l'INRS ne discute de plus pas vraiment de l'utilité des développements des nanotechnologies. Sur ce point, cet institut écrit seulement :

"A ce jour néanmoins, seuls quelques procédés ont atteint un degré élevé de maturité industrielle et quelques produits relativement faciles à fabriquer se retrouvent commercialisés (cosmétique, textile, sport, bâtiment, transport). Les activités se situent encore à un niveau pilote dans de nombreux secteurs comme la chimie, la construction, le transport, l'énergie, l'électronique, la médecine, le textile, l'alimentation ou encore l'environnement." (INRS)

L'INRS indique donc que les nanotechnologies sont utilisées sans émettre de jugement sur le bien-fondé de ces utilisations suivant qu'elles seraient indispensables ou non. Par ailleurs, dans son cahier d'acteur, l'INRS mentionne le cas spécifique du dioxyde de titane mais ne s'exprime pas spécifiquement sur sa dangerosité, ni sur son utilisation dans les crèmes solaires :

"Les nanoparticules et nanomatériaux ne sont pas seulement une curiosité de laboratoire et certains sont déjà une réalité, puisque produits dans des tonnages élevés depuis des années, comme le dioxyde de titane, l'alumine, le noir de carbone ou la silice." (INRS)

A fortiori, l'INRS ne discute pas du cas où des enfants pourraient inhaler leur crème solaire. Sur ce point, l'élève riposte donc en interpellant directement l'élève-acteur qui s'est exprimé juste avant elle, comme elle l'avait fait en début de débat, lors de ses échanges avec l'élève-actrice représentant le CENG.

Par ailleurs, du point de vue de l'argumentation lorsqu'elle revient sur les propos l'élève-acteur représentant la FEBEA, elle attaque un point de vue différent de celui qui vient d'être mis en avant. L'élève représentant la FEBEA parlait en effet d'inhalation de dioxyde de titane nanométrique et non d'inhalation de crème solaire. Elle commet ainsi une variante du sophisme de l'épouvantail et viole la règle de la discussion critique selon laquelle "l'attaque doit porter sur le point de vue tel qu'il a été avancé par l'autre partie". Toutefois, il est probable que ce paralogisme ait été induit par la remarque de l'élève représentant la FEBEA qui a ajouté juste après la mention de l'étude sur les effets du TiO_2 qu'une crème solaire n'était pas destinée à être inhalée :

"Il n'y a qu'une seule étude sur euh, sur beaucoup d'études qui ont trouvé un problème qui pourrait arriver en cas d'inhalation dans les poumons et, ce qui n'est pas le but, d'une crème solaire".

Cette réaction de l'élève représentant l'INRS amène alors l'élève représentant la FEBEA à apporter des précisions à sa première intervention.

94	Maria - INRS	On n'est pas contre le fait de développer les nanotechnologies, mais c'est plutôt dans un but, que ce soit entre guillemets utile, même presque vital pour les personnes qui sont vraiment atteintes par exemple au niveau neurologique, mais euh, pour ce qu'il s'agit d'une crème solaire, excusez moi mais les enfants peuvent très bien l'inhaler, la crème solaire et si c'est toxique quand on inhale...
95	Mathieu - FEBEA	Alors en fait, il y a qu'une seule étude qui, qui a prouvé ça sur un être humain et, et bon sur beaucoup, plusieurs centaines, et euh... Et enfin, les seules études sur lesquelles on s'appuie c'est sur des rats et en très grande quantité. Donc euh, bon, ça, c'est pas tout à fait un risque très démontré, quoi. Et euh
96	Béné - Gestionnaire du débat	Oui, euh l'INRS, peut-être aussi les gens de l'Académie de Médecine, je ne sais pas ou des Amis de la Terre, donc l'INRS avait demandé la parole. Oui, finissez.
97	Mathieu - FEBEA	D'un autre côté, en fait, l'utilisation en crème solaire permet de diminuer les risques de cancer cutané, de... pour les cancers de la peau et ça risque, ça permet... enfin, médicalement en fait, de limiter les risques de cancer.
98	Béné - Gestionnaire du débat	Donc votre point, c'est que ça limite les risques de cancer donc que
99	Mathieu - FEBEA	Notamment dans les pays comme l'Australie où c'est très utilisé euh actuellement

Contraint de répondre à l'élève représentant l'INRS, l'élève de la FEBEA tente de se défendre en arguant qu'une seule étude a pointe un risque pour la santé par inhalation. Son argumentation ici est un peu confuse. Il nous semble qu'il se sert du contenu du cahier d'acteur, où il est écrit :

> *"En effet, des études de cancérogenèse chez les rongeurs, dans la trachée desquels on dépose de grandes quantités de TiO_2, montrent la survenue de cancers chez l'animal. A l'inverse, toutes les études chez l'homme, sauf une, ne montrent pas de surmortalité par cancer du poumon ni du rein chez les travailleurs exposés au dioxyde de titane." (FEBEA)*

D'après cet extrait, lorsqu'il affirme : *"il y a qu'une seule étude qui, qui a prouvé ça sur un être humain et, et bon sur beaucoup, plusieurs centaines"* , il utilise d'abord le contenu du cahier d'acteur, puis ajoute que plusieurs centaines d'études ont été menées sans que ce chiffre ne figure dans le cahier de la FEBEA. De plus, lorsqu'il continue en disant : *"les seules études sur lesquelles on s'appuie c'est sur des rats et en très grande quantité"*, il reprend l'expression *"très grande quantité"* qui apparaît dans le cahier d'acteur quand la FEBEA fait allusion aux études où de très grandes quantités de TiO_2 ont été déposées dans la trachée de rats. Toutefois, il n'indique explicitement pas que ces travaux ont mis en évidence la survenue de cancers.

L'élève s'appuie ainsi sur le cahier d'acteur sans en faire de référence précise à son contenu. Ceci est peut-être à mettre en relation avec ce que les élèves avaient noté lors de la préparation du jeu de rôle. Ils n'avaient ainsi pas relevé beaucoup de détails sur les études mentionnées dans le cahier d'acteur de la FEBEA puisqu'ils avaient seulement écrit à propos des études sur la toxicité du dioxyde de titane :

> *"Le TiO_2 ne pénètre pas la peau (+sieurs étude), sauf pour les poumons, en cas d'inhalation."*

Passé ce bref retour un peu approximatif sur les études sur la toxicité du TiO_2, l'élève affirme ensuite que le risque n'est "pas très démontré". Cette affirmation ne figure pas telle qu'elle dans le cahier d'acteur de la FEBEA même si des éléments nous paraissent aller dans le sens de ce que dit l'élève comme par exemple :

> *"Le CSPC a évalué le dioxyde de titane (SCCNFP/0005/98, 24 octobre 2000) et a conclu que celui-ci est, dans un produit cosmétique, un ingrédient sûr." (FEBEA)*

Puis l'élève représentant la FEBEA répond à l'attaque de l'élève de l'INRS portant sur l'utilité des crèmes solaires. Il met en avant le rôle que ces crèmes peuvent jouer dans la prévention des risques de cancer de la peau. Sur ce point, il utilise le cahier d'acteur dont il dispose puisqu'on peut y lire :

> *"En complément avec d'autres filtres, notamment organiques (chimiques), le TiO_2 est incontournable et permet d'obtenir des indices de protections solaires UVB et UVA très élevés, bien équilibrés, qui jouent un rôle essentiel dans la prévention des cancers cutanés." (FEBEA)*

Enfin pour ce qui concerne la mention de son utilisation en Australie, nous avons déjà relevé l'extrait mentionnant qu'une revue de littérature avait été effectuée en 2006 par le Ministère de la santé Australien, où la FEBEA rapportait que 70 % des crèmes solaires utilisé dans ce pays contenaient du dioxyde de titane nanométrique. Ici l'élève s'inspire donc du cahier d'acteur qu'il a lu en préparation pour intervenir à l'oral.

Cette réponse de l'élève représentant la FEBEA à l'objection de l'élève-actrice représentant l'INRS suscite de nouveau une réaction de cette élève.

100	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord et vous voulez réagir ?
101	Maria - INRS	Vous ne pensez pas qu'il faut éliminer vraiment tous les risques, parce que peut-être que ça va soigner les cancers de la peau par exemple, mais on peut déclencher d'autres maladies, euh
102	Mathieu - FEBEA	Bah
103	Maria - INRS	Aussi graves, voire plus graves que celles

Lorsqu'elle suggère à l'élève de représentant la FEBEA qu'il faudrait peut-être *"éliminer vraiment tous les risques"*, l'élève représentant l'INRS ne reprend pas exactement ce qu'on peut lire dans le cahier d'acteur de cet institut de recherche. Il y est bien question de *"Prévention des risques"*. C'est même le titre de l'un des paragraphes du cahier. Cependant l'idée d'élimination *totale* des risques n'apparaît nulle part. L'INRS écrit seulement :

> *"Il convient donc, dans tous les environnements professionnels et tout au long du cycle de vie des produits, de développer un raisonnement basé sur la précaution et de mettre en place des stratégies de prévention adaptées :*
> *> à la nature chimique et aux propriétés spécifiques du produit,*
> *> à la quantité de produit fabriquée ou utilisée,*
> *> aux procédés mis en œuvre,*
> *> aux modes de travail,*
> *> aux populations exposées.*
> *Seront également pris en compte les risques d'explosion de poussières." (INRS)*

L'élève nous semble donc aller un cran au delà du contenu du cahier d'acteur qu'elle a étudié lorsqu'elle demande s' *"il ne faut pas éliminer vraiment tous les risques"*.

En outre, l'affirmation de l'élève représentant l'INRS selon laquelle l'utilisation du nano-TiO_2 peut "déclencher des maladies" ne figure pas non plus textuellement dans le cahier de l'INRS même si on peut y lire :

> *"Les nanoparticules et les nanomatériaux sont des produits chimiques préoccupants pour la santé et la sécurité au travail." (INRS)*

Enfin, en disant *"peut-être que ça va soigner les cancers de la peau"*, l'élève représentant l'INRS souhaite sans doute tenir compte du contenu de l'intervention de l'élève représentant la FEBEA. Cependant, elle radicalise son propos puisqu'il parlait seulement de *"limiter les risques de cancers"*.

Suite à cette nouvelle interpellation, l'élève représentant la FEBEA répond une dernière fois à l'élève de l'INRS.

103	Maria - INRS	Aussi graves, voire plus graves que celles
104	Mathieu - FEBEA	Bah en fait, pour l'instant, aucun risque n'a été décelé en fait, au niveau des études qui ont été faites et ça fait plusieurs, ça fait plusieurs années qu'on utilise le dioxyde de titane dans les, dans les crèmes solaires et aucun cas lié à, au dioxyde de titane n'a été euh... décelé.

En affirmant qu'*"aucun risque n'a été décelé"*, on peut considérer que l'élève représentant la FEBEA se contredit et qu'il va à l'encontre du contenu du cahier d'acteur de la FEBEA. Ce syndicat professionnel mentionnait en effet le cas d'études sur les risques par inhalation ayant amené le Centre international de Recherche sur le Cancer à classer le TiO_2 comme composé

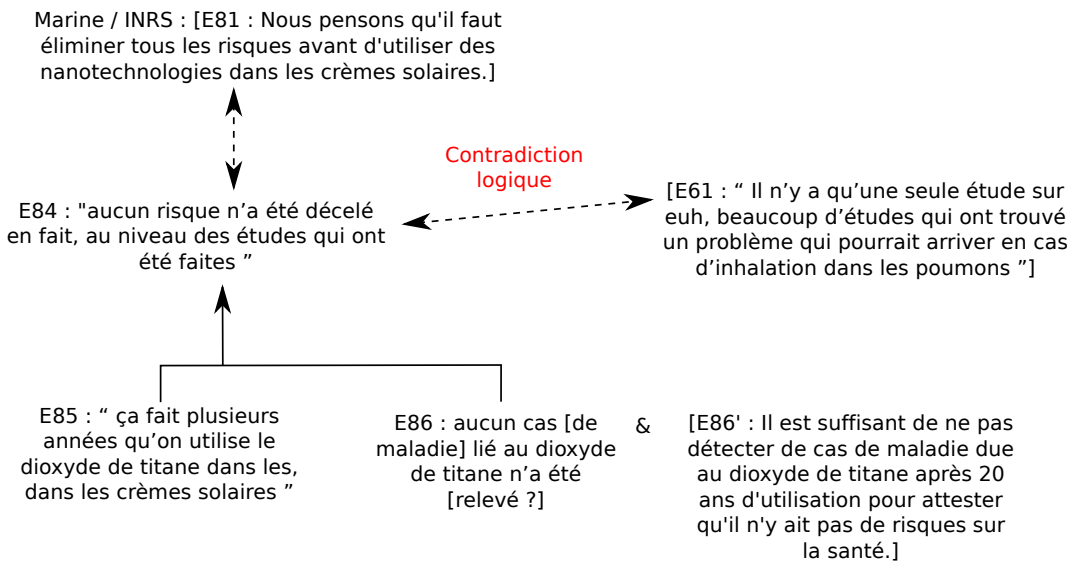


FIGURE 18.5 – Argumentation de l'élève représentant la FEBEA lors du tour de parole 104.

carcinogène possible par inhalation. Du point de vue de l'argumentation, son discours présente alors une contradiction logique avec ce qu'il avançait au tour de parole 85 (voir figure 18.5). Par ailleurs, en modifiant l'un des éléments de son discours pour rendre son point de vue plus facile à défendre, l'élève représentant la FEBEA utilise une "stratégie d'immunisation". Il se soustrait ainsi à la charge de la preuve et selon une perspective pragma-dialectique, il enfreint la règle de la discussion critique selon laquelle "une partie qui a avancé un point de vue est obligée de le défendre si l'autre partie le lui demande".

En revanche pour ce qui concerne la deuxième partie de son intervention où il estime que *"ça fait plusieurs années qu'on utilise le dioxyde de titane"*, il mobilise effectivement le contenu du document qu'il a étudié en préparation puisqu'il y est écrit :

> *"Ce filtre minéral est connu pour sa capacité à réfléchir, disperser et absorber les rayons ultra-violets (UV) et à protéger contre les effets délétères induits par une exposition prolongée au soleil. Il est utilisé dans les produits de protection solaire sous la forme de nano dioxyde de titane depuis bientôt 20 ans." (FEBEA)*

Néanmoins, la FEBEA ne déclare pas dans son cahier d'acteur que depuis ces 20 années d'utilisation, *"aucun cas lié à, au dioxyde de titane n'a été décelé"*, même si comme nous l'avons déjà relevé, cette fédération d'industriels cite l'avis du Comité Scientifique pour la Sécurité des Consommateurs qui déclare que le TiO_2 dans les crèmes solaires est un ingrédient sûr.

Finalement, dans ces échanges sur les questions de toxicité des nanoparticules, le premier à s'exprimer est l'élève-acteur représentant la Fondation Sciences Citoyennes. Il indique que les connaissances sur les risques des nanotechnologies sont insuffisantes comparées à leurs utilisations. Il mobilise ici une idée développée dans le cahier d'acteur de la Fondation Sciences Citoyennes qui pointe le fait que des nanoproduits sont déjà utilisés alors que leurs impacts sur la santé humaine et l'environnement sont largement inconnus.

L'élève représentant l'Association Française Transhumaniste intervient alors. Faisant écho à la synthèse du cahier d'acteur qu'elle a étudié, elle ré-affirme son soutien au développement des nanotechnologies, mais précise d'une part qu'il faut en parler et qu'il faut faire des tests. De son côté, l'Association Française Transhumanistes clame dans sa synthèse son soutien à la mise en place de contrôles tout au long du processus de recherche. Elle écrit aussi "Oui aux

nanotechnologies sans tabou", mais n'indique pas explicitement qu'il faille mettre en débat ces développements.

Rebondissant sur cette allusion à des tests, l'élève représentant le CNRS et le CEA prend la parole. Elle insiste sur la contribution aux recherches sur les risques des organismes de recherche qu'elle représente. Elle mentionne ainsi l'une des directions dans lesquelles, selon leur cahier d'acteur, le CNRS et le CEA s'efforcent de travailler pour mettre en œuvre une "démarche responsable".

L'élève représentant la FEBEA se manifeste alors. Utilisant des éléments issus de son cahier d'acteur, il revient sur l'emploi de nanoparticules de dioxyde de titane dans les crèmes solaires, relate que des études ont été menées et que cet ingrédient est plus efficace tout en n'étant pas dangereux. Mobilisant toujours le contenu du document qu'il a étudié en préparation, il explique que seule une étude a montré qu'il serait toxique par inhalation, sans préciser toutefois que les études auxquelles il fait référence sont des études sur l'homme et sans mentionner les résultats des études sur les rongeurs. Puis, exploitant le contenu de son cahier d'acteur, il souligne également que les produits cosmétiques contenant des nanotechnologies sont soumis à un préavis de 6 mois avant toute commercialisation. Là, extrapolant par rapport au document de la FEBEA, il explique que cette durée est là pour permettre la réalisation d'études préalables. Enfin il conclut cette première intervention en vantant le caractère pionnier des actions de l'industrie cosmétique dans les études sur les risques. Il reprend alors le terme de pionnier qui figure dans le cahier de la FEBEA, lorsque ce syndicat professionnel indique que l'industrie cosmétique est "pionnière en terme d'encadrement des nanomatériaux".

Cette tirade sur les crèmes solaires est suivie par une réaction de l'élève-actrice représentant l'INRS. Elle oppose les applications utiles "presque vitales" des nanotechnologies aux applications plus futiles comme celles des crèmes solaires. Elle déclare aussi que des enfants pourraient très bien inhaler ces crèmes. Ici, son intervention ne s'appuie pas des éléments contenus dans le cahier d'acteur de l'INRS et du point de vue de l'argumentation, elle attaque une position différente de celle que proposait l'élève représentant la FEBEA.

Ce dernier répond néanmoins à l'élève-actrice de l'INRS. Il mobilise le contenu de son cahier d'acteur pour donner des précisions sur l'étude laquelle il a fait référence mais s'emmêle un peu en disant

> *"il y a qu'une seule étude qui, qui a prouvé ça sur un être humain et, et bon sur beaucoup, plusieurs centaines, et euh... Et enfin, les seules études sur lesquelles on s'appuie c'est sur des rats et en très grande quantité."*

Il en conclut que ce risque n'est donc pas "très démontré" puis met en avant le rôle du dioxyde de titane dans la prévention des cancers de la peau que souligne aussi la FEBEA dans son cahier d'acteur.

L'élève-actrice représentant l'INRS ne lâche pour autant pas l'affaire. Elle va un cran au delà du contenu du cahier d'acteur de l'INRS qui s'intéresse à la prévention des risques en demandant s'il ne serait pas opportun "d'éliminer tous les risques".

L'élève représentant la FEBEA tranche alors la discussion en déChloént que

> *"pour l'instant, aucun risque n'a été décelé en fait, au niveau des études qui ont été faites et ça fait plusieurs, ça fait plusieurs années qu'on utilise le dioxyde de titane dans les, dans les crèmes solaires et aucun cas lié à, au dioxyde de titane."*

Dans cette dernière réplique, il utilise de nouveau des contenus issus de son cahier d'acteur lorsqu'il indique que le dioxyde de titane figure sur la liste des ingrédients des crèmes solaires depuis de nombreuses années. Toutefois, en radicalisant son propos sur l'absence de risques, il coupe court au débat, mais se contredit du même coup, car c'est lui-même qui mentionnait les risques de cancers lors d'exposition au nano-dioxyde de titane par inhalation.

18.3.5 Aspects économiques et perspectives ouvertes par les développements des nanotechnologies

Suite à ces échanges sur les questions de toxicité des nanoparticules et sur l'utilisation du dioxyde de titane dans les crèmes solaires, l'élève représentant le CNRS et le CEA se manifeste. Elle élargit le débat en abordant ce que les nanotechnologies pourraient apporter pour l'économie et dans différents domaines.

105	Béné - Gestionnaire du débat	*(Aude - CNRS/CEA lève la main)* Ok, est-ce que quelqu'un veut... Oui ?
106	Aude - CNRS/CEA	Je voudrais juste dire que là on allait vraiment dans le précis et les cas de problèmes précis et on avait pas parlé de, en général, tout ce que ça pouvait apporter. Par exemple en cette période de crise, nous on produit énormément d'emplois. Ça permet un rebondissement de l'économie française, c'est très important et puis, on fait des recherches dans énormément de domaines, notamment l'énergie ou même la médecine, comme chez mon, mon voisin.

La terminologie de "rebond" ou de *"rebondissement de l'économie française"* ne figure pas telle qu'elle dans les fiches de préparation remplies par les élèves. Cependant, elles ont identifié :

- pour ce qui concernent les aspects mis en avant par l'acteur :

  "Le soutient des nanotechnologie pour l'économie et l'emploi français due aux nombreux postes proposés" ;

- comme position défendue par l'acteur, dans l'un des tableaux :

  "Les nanosciences et nanotechnologie jouent un rôle important pour l'économie et l'emploi français" ;

- et parmi les arguments qu'elles ont repérés étayant cette position, on peut lire :

  "- Créer des emplois (6500 chercheurs sur 7000 en France au CNRS et CEA)".

Enfin les élèves ont classé en 2ème par ordre d'importance cet aspect : *"Rôle important dans l'économie : création d'emploi"* . Elles justifient ce choix en écrivant :

"Contre la crise
+ emploi = + de chercheurs = 1er rang mondial"

Ainsi lorsque l'élève s'exprime ici, elle prend appui sur ce que son groupe a pu relever en préparation du jeu de rôle. Elle mobilise par la même occasion des éléments issus du cahier d'acteur du CNRS et du CEA puisqu'on peut y lire :

> *"Dans le contexte de crise économique, les nanotechnologies sont pour les entreprises françaises et européennes une opportunité de conserver, voire de retrouver, leur compétitivité et créer leurs emplois." (CNRS-CEA)*

Toutefois, il nous semble que les emplois auxquels il est fait référence dans le cahier d'acteur du CNRS et du CEA seraient plutôt créés par les entreprises plus que par ces organismes de recherche eux-mêmes. Concernant les emplois liés aux nanotechnologies au sein de ces institutions, le CNRS et le CEA écrivent seulement :

> *"En 2009, près de 7 000 chercheurs travaillent en France sur les nanosciences et les nanotechnologies, dont 6 500 au CNRS et au CEA, ou en lien avec les deux organismes." (CNRS-CEA)*

Cette intervention suscite une réaction de l'élève-actrice représentant l'Académie de Médecine ("le voisin" de l'élève représentant le CNRS et le CEA) qui renchérit sur les applications des nanotechnologies en médecine.

107	Lucie - Académie Nationale de Médecine	Nous on peut dire que la, le développement des nanosciences et des nanotechnologies permet un progrès énorme en médecine parce que ça permet de mieux diagnostiquer les patients et du coup on peut leur donner un meilleur traitement. Ça permettra de guérir plus vite les maladies et donc une médecine quasiment personnalisée à chaque patient.
108	Béné - Gestionnaire du débat	Donc vous êtes pour un oui sans réserve sur les nanotechnologies ?
109	Lucie - Académie Nationale de Médecine	Pas sans réserve parce qu'il y a des risques mais euh, ils sont évalués et il y a des choses qui sont faites pour les limiter et pour en prendre compte.

Les idées d'amélioration des traitements et des diagnostics mises en avant par l'élève figurent effectivement dans le cahier d'acteur de l'Académie Nationale de Médecine. Cependant cette académie n'établit pas de lien de causalité systématique entre meilleur diagnostic et meilleur traitement. Pour cette société savante, cela ne vaut que dans certains cas :

> *"Les techniques nanométriques permettent un diagnostic rapide, fiable, ultrasensible et peu onéreux, fondé sur les données fournies par un ensemble de plus en plus spécialisé de biopuces et de marqueurs moléculaires. Dans quelques cas, on parvient déjà à un véritable diagnostic biologique individuel : ceci permet de réaliser, dans certaines affections, des traitements hautement spécifiques, tenant compte des particularités propres à chaque patient. On commence à voir ainsi apparaître ce qui sera peut-être dans le futur une véritable médecine personnalisée, tenant de mieux en mieux compte des particularités de chaque individu." (Académie Nationale de Médecine)*

L'Académie de Médecine parle donc d'une médecine personnalisée, d'une amélioration du diagnostic. Cette société savante dit aussi quelques mots à propos de l'amélioration de la qualité des traitements :

> *"L'amélioration de la qualité des traitements repose notamment sur le transfert ciblé des médicaments, qui est maintenant possible dans beaucoup d'affections." (Académie Nationale de Médecine)*

Il n'est en revanche pas fait mention dans le cahier d'acteur de l'Académie Nationale de Médecine de guérison ou d'amélioration de la vitesse ou même des chances de guérison.

L'élève utilise donc dans son intervention des éléments du document (la médecine personnalisée, l'amélioration des diagnostics...) qu'elle a étudié. Toutefois, elle en tire des conséquences sur les chances de guérison absentes du cahier d'acteur.

Dans leurs fiches de préparation, les élèves n'avaient par ailleurs pas fait non plus d'allusion à de telles perspectives. Ils avaient par contre noté les avancées augurées en matière de diagnostic, d'amélioration des traitements et la possibilité d'aboutir à "une médecine personnalisée" pour chaque patient.

Ainsi parmi les positions défendues par l'acteur ils ont relevé :

> *"Les nanosciences et les nanotechnologies permettent les progrès dans le secteur de la médecine grâce à une médecine personnalisée".*

Et comme arguments pour étayer cette position, ils ont écrit notamment :

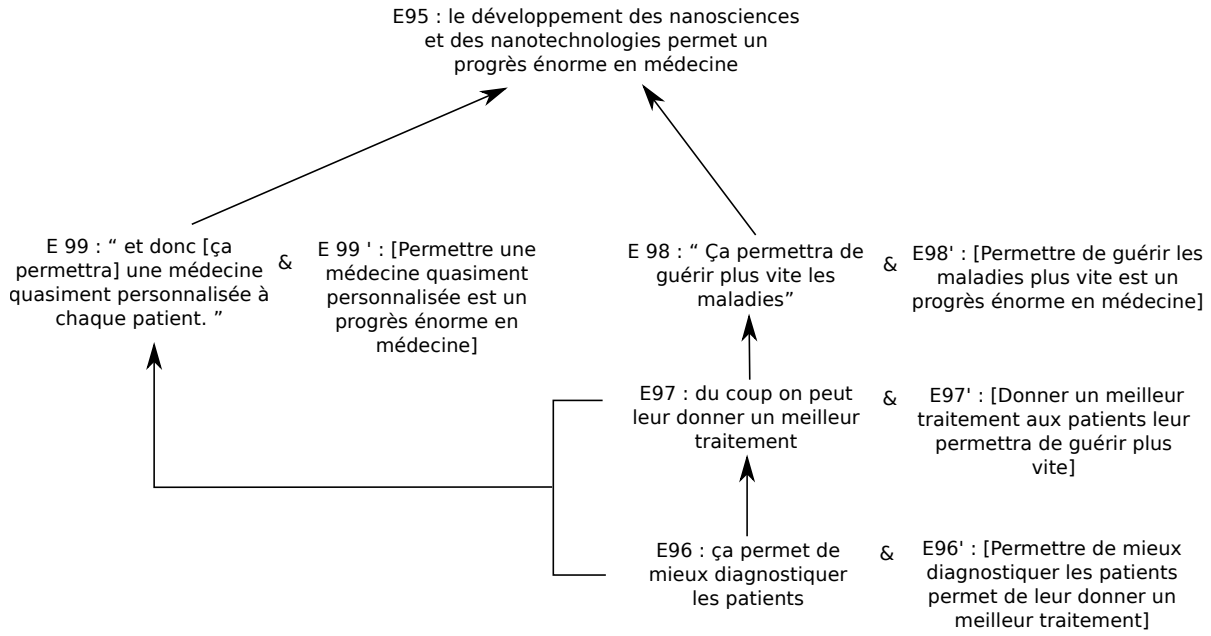


FIGURE 18.6 – Argumentation de l'élève représentant l'Académie Nationale de Médecine à la réplique 107.

> *"- diagnostic plus rapide, fiable, ultrasensible et peu onéreux*
> *- meilleure qualité des traitements"*

À l'oral l'élève-actrice reprend donc ces éléments mais en ajoutant des liens de causalités entre eux. Ces liens figurent aussi dans la fiche de préparation du jeu de rôle où il était demandé aux élèves de classer par ordre d'importance les aspects auxquels s'intéresse l'ANM :

L'aspect le plus important qu'ils retiennent est :

> *"Progrès dans la médecine, cad, médecine personnalisée, argument meilleur diagnostic"*

Et les raisons qu'ils mettent en avant pour ce classement sont :

> *"Un meilleur diagnostic (rapide, fiable, ultrasensible, peu onéreux) permet d'établir un traitement plus précis et donc de mieux soigner le patient."*

Enfin, du point de vue de l'analyse de l'argumentation (voir figure 18.6), en déChloént qu'un meilleur diagnostic permet un meilleur traitement, l'élève généralise un lien de causalité qui n'est pas systématique. De même donner un meilleur traitement à un patient ne va pas entraîner nécessairement sa guérison ou une guérison plus rapide. Dans son argumentation, elle confond ainsi conditions suffisantes et conditions nécessaires. Elle enfreint alors la règle de la discussion critique selon laquelle : "une partie ne doit utiliser que des arguments logiquement valide ou susceptibles d'être validés moyennant l'explicitation d'une ou plusieurs prémisses".

Enfin, au cours le tour de parole 109, l'élève-actrice représentant l'Académie de Médecine oppose les possibles avancées des nanotechnologies aux "risques" sans vraiment développer ce qu'elle entend sous ce terme.

> *"il y a des risques mais euh, ils sont évalués et il y a des choses qui sont faites pour les limiter et pour en prendre compte"*

Elle utilise ici ce qu'elle et son groupe avaient noté parmi "les aspects qui intéressent l'acteur" :

> *"- risques :*
> *- liés à la santé de l'homme*
> *- environnementaux*
> *- mise en place de précautions"*

De plus, les élèves étudiant le cahier d'acteur de l'Académie de Médecine avaient également rempli un tableau où à la question "quelles positions l'acteur défend-il ?" ils ont répondu :

"Les nanosciences et les nanotechnologies constituent des risques"

Dans la case "arguments pour étayer ses positions", ils ont aussi écrit :

"risques environnementaux
risques encourus par le patient
risques encourus par les personnels des entreprises".

Enfin dans la case "recommandations", ils ont noté

"Prendre des précautions afin de minimiser les risques".

L'aspect "prise en compte des risques" figure donc dans les fiches remplies par les élèves. Néanmoins, il y apparaît au titre d'une préconisation alors que l'élève déclare que des choses sont déjà entreprises pour les évaluer et les limiter.

Enfin concernant à la fois les "risques des nanotechnologies" et leur prise en compte, on peut lire dans le cahier d'acteur de l'ANM :

> *"Cependant, si les recherches dans le domaine des nanosciences sont mondiales et intenses, les études sur les risques éventuels de ces nouvelles technologies et de leurs conséquences font partie de la plupart des programmes scientifiques en cours, justement en raison des expériences passées et de l'obligation de précaution." (ANM)*
>
> ou encore
>
> *"Comme c'est le cas pour toutes les substances, la toxicité des nanomatériaux dépend en grande partie de leurs concentrations. C'est pourquoi, à l'heure actuelle, les effets délétères de la nanoindustrie, qui déjà prend les plus grandes précautions, apparaissent moins probables que ceux des nano particules issues de la pollution environnementale, et ceci pour plusieurs raisons :*
>
> *1/ On en prévient aujourd'hui les risques les plus vraisemblables, en raison justement de l'expérience acquise, d'une part en matière de pollution atmosphérique, et d'autre part à propos de l'amiante. Cette expérience est largement mise à profit dans la fabrication des nanomatériaux, notamment des tubes de carbone, bien qu'il n'existe encore pour la nano-industrie aucune réglementation particulière.*
>
> *2/ De plus, la fabrication de ces nanomatériaux implique, en elle-même, afin d'éviter toute nano-souillure, l'emploi presque généralisé de salles blanches.*
>
> *3/ C'est pourquoi la manipulation des nanomatériaux par leurs constructeurs et leurs utilisateurs expose normalement ceux-ci à des doses particulièrement faibles.*
>
> *4/ Quant à l'administration à l'homme de nano-objets, elle est soumise à la contraignante réglementation de la mise sur le marché des médicaments et des matériaux implantés, impliquant des essais expérimentaux et cliniques approfondis, ce qui en a jusqu'à présent sécurisé l'emploi." (ANM)*

En déChloént qu'il y a des risques et que ceux-ci sont pris en compte, l'élève-actrice mobilise donc finalement bien le contenu du cahier d'acteur qu'elle a étudié.

Dans ces quelques tours de paroles portant essentiellement sur ce que les nanotechnologies peuvent apporter de bénéfique, l'élève représentant le CNRS et le CEA utilise le contenu de son cahier d'acteur pour mettre en avant les perspectives économiques et la mAnna d'emplois que ces développements pourraient générer. Elle mentionne également les applications dans le domaine des énergies ou de la médecine. L'élève-actrice représentant l'Académie de Médecine prend alors à son tour la parole pour illustrer certaines avancées que laissent espérer le développement des nanotechnologies : amélioration des diagnostics, des traitements

et développement d'une "médecine personnalisée". Elle utilise alors des éléments issus de son cahier d'acteur mais systématise certains liens de causalité. Elle indique ainsi que les meilleurs diagnostics permettront de meilleurs traitements, qui permettront eux-mêmes de guérir les malades. Enfin, elle achève son intervention en contrebalançant ces perspectives par les "risques" des nanotechnologies. Là, s'inspirant de ce qu'écrit dans son cahier d'acteur la société savante qu'elle représente, l'élève-actrice estime que ces risques sont évalués et pris en compte.

18.3.6 Priorités de recherche

Suite à l'allusion de l'élève représentant l'Académie de Médecine aux initiatives d'évaluation des risques, la gestionnaire de débat encourage quelques élèves à intervenir sur ces questions. Ces invitations à intervenir restent toutefois sans réponse.

110	Béné - Gestionnaire du débat	*(Aurélie - Transhumanistes lève la main)* D'accord. Euh oui, juste sur l'évaluation des risques. Donc cette évaluation des risques ne pose aucun problème actuellement ? Des gens peut-être comme les Amis de la Terre ou même les syndicats, ou de l'INRS ? *(court silence)* Ouais, vous voulez réagir ?
111	Corentin - Amis de la Terre	Nan...
112		*(Rires)*
113	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord. *(A Aurélie - Transhumanistes)* On va revenir sur sur les transhumanistes alors.

La gestionnaire de débat donne la parole à l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste et la discussion s'oriente alors vers des questions ayant trait aux priorités de recherches.

114	Aurélie - Transhumanistes	Euh ben, par rapport à notre association, on pense aussi que il va peut-être y avoir un problème dans le futur, c'est que la médecine va chercher à développer les nanotechnologies dans tous les secteurs envisageables, enfin voilà, et on pense que il faut surtout, parce que notre humanité elle n'est pas en énorme danger, elle ne va pas disparaître du jour au lendemain. Donc je pense que les nanotechnologies ne sont pas essentielles mais il faut être, il faut essayer d'être guidé par les impératifs et ne pas s'étendre euh... *(Aude - CNRS/CEA lève la main)*
115	Béné - Gestionnaire du débat	Par les impératifs vous entendez quoi ?
116	Aurélie - Transhumanistes	Bah par exemple, au niveau euh... de la santé, les, les maladies les plus difficiles euh, à soigner, parce que par exemple, là dans les crèmes solaires, bon c'est bien, c'est quand même bien, mais je pense qu'il faut être guidé par les problèmes essentiels.

Comme nous l'avons noté, l'Association Française Transhumaniste écrit que les nanotechnologies doivent être développées sans qu'il y ait urgence. Ainsi, on peut lire dans son cahier d'acteur :

*"**Bien entendu, pour longtemps encore, il est hautement probable que la pensée humaine demeure liée au corps - plus ou moins celui que nous connaissons. Il sera donc nécessaire de préserver les équilibres dont ces corps dépendent : une planète viable, une ou des sociétés humaines suffisamment stables et dynamiques à la fois.***

Notons bien qu'il n'y a pas urgence. L'Humanité n'est pas menacée au point d'avoir à tout prix besoin que ces technologies soient développées le plus vite possible quitte à prendre les plus grands risques." (AFT)

L'Association Française Transhumaniste poursuit en déChloént :

*"Ainsi, **notre morale, et notre éthique, doivent être guidées par les impératifs écologiques, sociaux et politiques. Les nanotechnologies doivent être développées pour autant que leur emploi permet de renforcer les chances de perpétuation de la pensée humaine.**" (AFT)*

La comparaison entre ces extraits et l'intervention de l'élève-actrice représentant l'Association Française Transhumaniste montre qu'elle s'inspire du vocable employé par cette organisation.

Toutefois à propos des développements des nanotechnologies en médecine, dont l'élève affirme :

"on pense aussi que il va peut-être y avoir un problème dans le futur, c'est que la médecine va chercher à développer les nanotechnologies dans tous les secteurs envisageables"

l'Association Française Transhumaniste écrit :

" Concernant l'Humain, les projets ne manquent pas non plus : Nanomédecine tout d'abord (thérapies pratiquées par des nanorobots injectés dans l'organisme, médicaments délivrés par nanocapsules) avec pour conséquence possible un allongement encore important de l'espérance de vie, mais bientôt, nano augmentations de tous ordres, grâce à des nano implants, afin d'améliorer les capacités motrices, perceptives ou cognitives du corps ou du cerveau. De telles perspectives amènent à s'interroger sur les conséquences, négatives ou positives d'une éventuelle diversification de l'espèce. " (AFT)

L'Association Française Transhumaniste ne dit donc pas vraiment que "la médecine va chercher à développer les nanotechnologies dans tous les domaines". Elle ne s'interroge sur les développements des nanotechnologies en médecine que dans la mesure où ils pourraient permettre une "diversification de l'espèce". Toutefois à ce propos, cette organisation considère ensuite :

"À partir de là, la réflexion sur l'usage des nanotechnologies, comme de toute technologie en général, s'éclaire : le développement des nanotechnologies est souhaitable dans la mesure où il participe à l'augmentation des possibilités de l'humanité, où il contribue à perpétuer son existence et sa pensée. Donc, les Transhumanistes français proposent de considérer que l'on peut assumer les responsabilités qui accompagnent les nouvelles possibilités offertes, que l'on peut chercher l'équilibre entre la liberté des individus concernant leur corps et l'effet des modifications sur la société ; que l'on peut enfin assumer la diversité des individus composants une société de tolérance." (AFT)

Par conséquent, l'élève-actrice représentant l'Association Française Transhumaniste nous semble défendre un point de vue absent du cahier d'acteur, lorsque d'une part elle déclare que

"les nanotechnologies ne sont pas essentielles"

et d'autre par qu'elle explicite que par "impératifs" elle entend :

"Bah par exemple, au niveau euh... de la santé, les, les maladies les plus difficiles euh, à soigner, parce que par exemple, là dans les crèmes solaires, bon c'est bien, c'est quand même bien, mais je pense qu'il faut être guidé par les problèmes essentiels."

Enfin, il est possible que l'adjectif " essentiel " employé par l'élève-actrice soit aussi tiré du cahier d'acteur de l'AFT où il apparaît à deux reprises dans le cahier d'acteur.

D'abord dans le sous-titre du cahier :

" Nanotechnologies ? : une réponse transhumaniste
Aller au bout des questions essentielles " (AFT)

Ensuite dans le titre d'un des premiers paragraphes :

" *La révolution nanotechnologique pose des questions essentielles " (AFT)*

Si l'on s'intéresse par ailleurs aux fiches remplies par les élèves en amont du jeu de rôle, on trouve certains éléments concernant les développements des nanotechnologies en médecine. Ainsi, sur la fiches où ils devaient classer les thèmes abordés par l'acteurs par ordre d'importance, les élèves ont classé en deuxième :

"Devellopement nanotechnologies au niveau de la médecine
↪ amélioration de la santé globale de l'humanité"

Les raisons qu'ils mettent en avant pour justifier ce choix sont les suivantes :

"C'est important d'avoir une humanité en bonne santé.
Recherche de progrès (maladies graves)"

Les élèves n'ont donc pas noté que le développement de la médecine pourrait être problématique ou que "la médecine allait chercher à développer les nanotechnologies dans tous les secteurs envisageables". Toutefois, la référence aux "maladies graves" rappelle ce que l'élève-actrice considère comme des "impératifs".

Par ailleurs, comme nous l'avons déjà noté plus haut, les élèves ont écrit à la question : "quelles positions l'acteur défend-il ?"

"Technoprog ! est pour le devellopement des nanotechnologies sans pour autant être dans l'urgence ; nous devons être guider par les impératifs écologiques, sociaux, et politiques"

De plus, pour justifier la proposition "*sans pour autant être dans l'urgence*" , les élèves ont écrit que l'Association Française Transhumaniste estimait :

"Arg 2 : L'Humanité n'est pas menacée au point d'avoir à tout prix besoin des nanotechnologies."

Enfin pour la proposition *"nous devons être guider par les impératifs écologiques, sociaux, et politiques"*, ils ont relevé comme arguments :

"Arg 3 : nanotechnologies si on en a vraiment besoin : si outrage à la nature.
Arg 4 : nanotechnologies si la société le réclame : santé, environnement.
Arg 5 : qui décide si on doit develloper les nanotechnologies"

On retrouve ici de nouveau certains termes employés à l'oral par l'élève-actrice qui figuraient aussi dans le cahier d'acteur de l'Association Française Transhumaniste. En revanche, lors de son explicitation de ce qu'elle place sous le terme "impératifs", l'élève-actrice ne reprend pas ce qu'elle et son groupe avaient noté ici.

Cette intervention de l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste où elle déclare que les nanotechnologies ne sont pas essentielles et qu'il faut être "guidé par les impératifs" suscite une réaction de l'élève-actrice représentant le CNRS et le CEA. Elle souligne alors l'intérêt des travaux menés par ces organismes de recherches dans certains domaines comme celui des énergies.

117	Béné - Gestionnaire du débat	(Aude - CNRS/CEA lève la main) Oui
118	Aude - CNRS/CEA	Vous venez de dire que les nanotechnologies ne sont pas essentielles. Dans un domaine peut-être, mais on est en pleine recherche sur les énergies qui polluent moins et c'est très important, je pense pour notre planète aujourd'hui de trouver des solutions pour polluer beaucoup moins.

L'idée de développer des "énergies moins polluantes" grâce aux nanosciences et aux nanotechnologies figure explicitement dans le cahier d'acteur du CNRS et du CEA :

> "*Le CEA et le CNRS développent prioritairement leurs activités de recherche en nanosciences et nanotechnologies dans cinq secteurs :*
>
> *> Les énergies à faible impact climatique.*
>
> *Les recherches portent, par exemple, sur l'économie et le remplacement des matériaux rares pour les batteries ou le stockage de l'hydrogène, sur les cellules solaires bas coût, sur les matériaux d'isolation des bâtiments, ou encore sur des technologies propres et économes en ressources assurant la qualité de l'eau et de l'environnement." (CNRS-CEA)*

Le terme de *"planète"* employé par l'élève ne figure pas quant à lui dans le cahier d'acteur. Cependant, l'idée sous-jacente de préservation de la planète est bien présente dans le document produit par le CNRS et du CEA. On peut en effet y lire :

> *"Le CEA, ainsi qu'en partie le CNRS, associe science fondamentale et développement technologique. L'objectif est de contribuer au développement d'une société économe en ressources naturelles et en énergie, porteuse d'une forte exigence de préservation de la santé et de l'environnement." (CNRS-CEA)*

L'exemple du développement d'énergies moins polluantes figure aussi dans les fiches remplies par les élèves. Dans la rubrique "Quelles positions l'acteur défend-il ?" ils ont ainsi noté :

> *""Nano" permettent le développement de grands domaines de recherche"*

Par ailleurs, elles ont répertorié comme arguments pour étayer cette proposition :

> *"- Énergie à faible impacte climatique (environnement)*
> *- Application médicale*
> *- Technologie de l'information et de la communication*
> *- Sciences des matériaux*
> *- Innovation techniques au service de la sécurité."*

Enfin, sur la fiche où il était demandé aux élèves de classer les aspects développés par l'acteur par ordre d'importance, les élèves ont classé en 1 :

> *""Nano"- importantes recherches dans Energie à fable impacte climatique."*

Les raisons qu'elles mettent alors en avant pour justifier ce choix sont les suivantes :

> *"Le réchauffement climatique et l'épuisement des matières première et la polution des energies non-renouvelables sont des sujet d'actualité et d'interêt commun. C'est pourquoi cet argument est probablement le plus important"*

Le fait que l'élève actrice mette l'accent ici sur les utilisations des nanotechnologies pour développer de nouvelles solutions dans le domaine de l'énergie n'est donc peut-être pas fortuit.

L'élève représentant l'Association Française Transhumaniste demande alors la parole pour rebondir sur les propos de l'élève représentant le CNRS et le CEA. Elle se déclare en accord avec ce qui vient d'être avancé puis revient sur l'importance de privilégier les problèmes essentiels en illustrant son propos avec l'exemple de médicaments pour traiter l'eczéma.

119	Béné - Gestionnaire du débat	*(Aurélie - Transhumanistes lève la main)* Ouais
120	Aurélie - Transhumanistes	Euh oui, je suis tout à fait d'accord. Enfin, ce qui serait le mieux, c'est de pouvoir se développer partout en même temps sans aucun risque mais le problème c'est que, comme beaucoup de produits qu'on a eu, qu'on a maintenant et qu'on découvre comme des médicaments qu'on a, je pense aux médicaments pour l'eczéma, les trucs comme ça. On a, dans les années par exemple dans les années 80, on a essayé de développer ces médicaments ; on est allé très vite et on ne s'est pas focalisé sur les problèmes essentiels et donc, aujourd'hui on se retrouve avec des médicaments qui sont très néfastes, et qui euh, qui créent des cancers en masse. Et euh, je pense qu'il faut essayer de ralentir un petit peu et de se focaliser sur les choses les plus importantes.

L'élève détaille ici un exemple absent du cahier d'acteur de l'Association Française Transhumaniste pour étayer son propos.

En effet, le terme "médicaments" est utilisé une fois dans ce document lorsque cette organisation dresse un bref inventaire des perspectives ouvertes par les développements des nanotechnologies en médecine :

> *"Concernant l'Humain, les projets ne manquent pas non plus : Nanomédecine tout d'abord (thérapies pratiquées par des nanorobots injectés dans l'organisme, médicaments délivrés par nanocapsules) avec pour conséquence possible un allongement encore important de l'espérance de vie, mais bientôt, nano augmentations de tous ordres, grâce à des nano implants, afin d'améliorer les capacités motrices, perceptives ou cognitives du corps ou du cerveau."*

La référence à des médicaments qui pourraient être développés est donc bien présente mais il n'est pas question de tests pour mesurer les effets secondaires de ces substances ou de remettre en cause le processus aboutissant à leur mise sur le marché.

De même, sur les fiches remplies en préparation, les élèves n'ont rien noté de tel. À propos des développements des nanotechnologies pour la médecine, les élèves ont en effet seulement noté :

> *"Arg 1 : devellopement nano = transformation radicale et inouie.*
> *↪ transformation nature par l'Homme*
> *ex 1 : projet de dépolution des hydrocarbures*
> *ex 2 : nanomédecine (nanorobot, nanocapsule ds organisme)"*

L'élève défend donc ici le point de vue qu'il faut s'efforcer de "ralentir un peu et de se focaliser sur les choses les plus importantes", en recourant à un exemple auquel l'Association Française Transhumaniste ne fait aucune allusion et dont on ne peut relever aucune trace sur les fiches de préparation.

Quant au point de vue lui même, il nous semble qu'il fait de nouveau écho à l'extrait du cahier d'acteur de l'AFT où il est écrit :

> *"Notons bien qu'il n'y a pas urgence. L'Humanité n'est pas menacée au point d'avoir à tout prix besoin que ces technologies soient développées le plus vite possible quitte à prendre les plus grands risques.*

Ainsi, ***notre morale, et notre éthique, doivent être guidées par les impératifs écologiques, sociaux et politiques. Les nanotechnologies doivent être développées pour autant que leur emploi permet de renforcer les chances de perpétuation de la pensée humaine.*** *" (AFT)*

À cet endroit du débat, la gestionnaire de la discussion propose alors au représentant de la CFE-CGC qui pour l'instant n'a rien dit, de prendre la parole.

121	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord. Alors je voudrais... Il y en a qui peut-être, vous avez des choses à dire aussi, pour les syndicats. Quelle est votre position sur ces développements ?
122	Cédric - CFE-CGC	Alors, je voudrais hum, investir, enfin, plus investir dans les études au niveau de la recherche sur la toxicologie, euh la toxicité des nanotechnologies, parce que pour l'instant on a quand même peu de recul là dessus.

L'élève intervient pour appeler de ses vœux un effort de recherche plus important sur les risques. Cet élément figure bien dans le cahier de la CFE-CGC. On peut en effet lire :

> *"En matière de santé, la priorité est de développer les activités de recherche en toxicité et écotoxicité pour mieux identifier les risques liés à certaines activités ou certains produits." (CFE-CGC)*

L'intervention de l'élève nous semble donc coller sur ce point au contenu du cahier de la CFE-CGC. Cette importance accordée aux questions de toxicité apparaissait de plus dans les fiches remplies par les élèves. Ainsi, à la question *"quels aspects du développement des nanosciences et des nanotechnologies sont importants pour cet acteur",* les élèves ont écrit entre autres :

> *"- surveiller la toxicité (pour les salariés en contact avec les nanotechnologies)*
> *- ↪ environnement également*
> *- recherche sur la toxicité des nanotechnologies*
> *- mettre en place des réglementations sanitaires"*

L'élève invoque ensuite le manque de recul pour justifier sa recommandation d'accorder des fonds plus importants à la recherche en toxicologie. Nous allons y revenir dans le prochain paragraphe.

Finalement, en matière de priorité de recherches l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste commence par une intervention un peu confuse où elle affirme que "la médecine va sans doute développer les nanotechnologies dans tous les domaines". Posant ceci comme un problème, elle estime que les nanotechnologies ne sont pas essentielles puisque l'humanité n'est pas vraiment en danger et qu'il faut se concentrer sur les "impératifs" par exemple sur les maladies graves au détriment d'applications plus secondaires à ses yeux, comme les crèmes solaires. L'élève-actrice s'inspire alors du vocabulaire employé par l'Association Française Transhumaniste sans retranscrire précisément les prises de positions de cette organisation. Cette association déclare en effet que le développement des nanotechnologies est souhaitable dans la mesure où il permet d'espérer accroître les chances de survie de l'espèce humaine. De plus, considérant aussi que l'espèce humaine ne serait pas menacée d'extinction imminente, l'Association Française Transhumaniste déclare qu'il ne serait pas nécessaire de développer les nanotechnologies dans l'urgence en prenant des risques inconsidérés.

Cette intervention de l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste fait alors réagir l'élève représentant le CNRS et le CEA. Elle souligne l'utilité des applications dans le domaine de l'énergie, s'appuyant alors non seulement sur le contenu du cahier d'acteur de ces organismes de recherche, mais aussi sur les éléments qu'elle et son groupe avaient noté en préparation. Ils avaient en effet relevé que les questions d'énergie mais aussi d'épuisement des

ressources étaient des “sujets d’actualité et d’intérêt commun”. La mobilisation de cet exemple par l’élève actrice représentant le CNRS et le CEA n’est donc peut-être pas le fruit du hasard.

Son intervention suscite alors une nouvelle réaction de l’élève représentant l’Association Française Transhumaniste. Celle-ci affirme de nouveau l’importance de développer les nanotechnologies en se “focalisant sur les problèmes essentiels” et en “ralentissant un petit peu”. Pour défendre ce point de vue, elle discute de l’exemple de certains médicaments pour l’eczéma qui auraient été à l’origine du développement de multiples cancers mais dont l’Association Française Transhumaniste ne dit rien dans son cahier d’acteur.

Enfin, sollicité par la gestionnaire de débat, l’élève représentant la CFE-CGC intervient à son tour dans le débat. Répercutant une prise de position du syndicat qu’il représente, il déclare souhaiter que des fonds plus importants soient accordés à la recherche en toxicologie.

Il argumente cette préconisation en invoquant le manque de recul.

L’incertitude entourant les questions de toxicité et le manque de recul sont justement au cœur des tours de parole qui ont suivi.

18.3.7 Toxicité et absence de recul

À la fin du tour de parole 122, l’élève représentant la CFE-CGC avait motivé sa demande d’investir des sommes plus importantes dans la recherche en toxicologie en mentionnant le “manque de recul”. La gestionnaire de débat lui demande alors notamment d’expliciter un peu.

122	Cédric - CFE-CGC	Alors, je voudrais hum, investir, enfin, plus investir dans les études au niveau de la recherche sur la toxicologie, euh la toxicité des nanotechnologies, parce que pour l’instant on a quand même peu de recul là dessus.
123	Béné - Gestionnaire du débat	D’accord donc ce que vous avez dit, ça va un peu à l’encontre de ce qu’a dit monsieur, sur le TiO_2, le dioxyde de Titane
124	Cédric - CFE-CGC	Bah on n’est pas contre, mais on a peu de recul quand même.
125	Béné - Gestionnaire du débat	Alors, par peu de recul, qu’est ce que vous entendez ?
126	Cédric - CFE-CGC	Bah, bah, enfin c’est nouveau quoi, c’est...
127	Béné - Gestionnaire du débat	C’est nouveau... *(Thomas - Sciences Citoyennes a demandé la parole)* Oui ?

En invoquant le manque de “recul” sur l’élève-acteur représentant la CFE-CGC porte un discours cohérent avec le contenu du document produit par ce syndicat. En effet, le terme de recul n’apparaît pas dans le cahier d’acteur de la CFE-CGC mais on peut y lire :

> *“Des questions se posent également sur l’impact environnemental des processus de production, sur les problèmes de transport, de stockage et de cycle de vie des nanomatériaux. On n’a que peu d’informations aujourd’hui sur leur interaction avec les systèmes vivants, de sorte qu’il est difficile d’évaluer le danger potentiel qu’ils représentent.” (CFE-CGC)*

Cependant, amené à expliciter ce qu’il entend par “peu de recul”, il souligne seulement la nouveauté des nanotechnologies, sans reprendre ce que dit ici la CFE-CGC sur “le manque d’informations”.

Par ailleurs, les termes de “recul”, ou bien des terminologies du type “manque d’informations, de connaissances”, “prise de distance”, n’apparaissaient pas dans les fiches remplies par les élèves.

Enfin, en dépit de cette incertitude, l’élève représentant la CFE-CGC indique que l’organisation syndicale qu’il représente n’est pas pour autant opposée aux développements des nanotechnologies. À ce propos, la CFE-CGC écrit dans son cahier d’acteur :

> *“La maîtrise des nanotechnologies constitue donc un enjeu stratégique pour notre pays, en termes d’emploi, de croissance et d’indépendance technologique. Il s’agit d’un nouveau " saut technologique », comme l’a été celui de l’avènement de la machine à vapeur en son temps ou de l’informatique plus récemment.” (CFE-CGC)*

De plus, les élèves étudiant ce cahier d’acteur avaient de leur côté relevé en préparation, à la question “quelles positions l’acteur défend-il ?”

> *“Pour les nanotechnologies*
> *MAIS*
> *en preservant la santé des salariés qui sont en contact lors de la production ou les recherches sur les nanotechnologies.”*

Suite à cette intervention de l’élève représentant la CFE-CGC, l’élève-acteur représentant la Fondation Sciences Citoyennes demande la parole pour apporter des précisions sur ce que, lui, entend par la proposition “on a peu de recul”.

127	Béné - Gestionnaire du débat	C’est nouveau... *(Thomas - Sciences Citoyennes a demandé la parole)* Oui ?
128	Thomas - Sciences Citoyennes	C’est aussi les conséquences à long terme de l’utilisation de certains produits.

La terminologie de “conséquences à long terme” que l’élève emploie ici pour définir ce que signifie pour lui l’absence de recul sur les questions de toxicité, ne figure pas textuellement dans le cahier de la FSC. Toutefois dans ce document, on lit :

> *“Non seulement les citoyens n’ont pas la possibilité de décider en connaissance de cause, mais de plus, ils ignorent que des nanoproduits sont déjà présents dans leur vie quotidienne (dans l’alimentation, les textiles, les cosmétiques, les matériaux de construction...), commercialisés sans aucune analyse de leur toxicité pour l’environnement et la santé humaine” (FSC)*

L’idée de l’absence de recul sur la toxicité des nanoparticules est donc bien présente dans le cahier d’acteur de la FSC, même si celle-ci n’est pas exprimée dans les termes choisis ici par l’élève. De même l’expression de “conséquence à long terme” n’apparaît pas dans les fiches remplies par les élèves. Par contre, le groupe qui a étudié le cahier de la FSC a écrit sur l’un des tableaux de préparation du jeu de rôle dans la case “quelles positions l’acteur défend-il ?” :

> *“Le manque de connaissances de la toxicité éventuelle des nanotechnologie”.*

Et parmi les arguments pour justifier cette proposition, ils ont inscrit :

> *“Il a déjà énormément de nanotechnologies aujourd’hui.”*

L’élève-acteur représentant la FEBEA lève alors la main pour intervenir. Invité à s’exprimer, il revient sur le fait que le dioxyde de titane ait été utilisé dans les crèmes solaires depuis très longtemps.

129	Béné - Gestionnaire du débat	*(Mathieu - FEBEA a levé la main).* D'accord. Oui ?
130	Mathieu - FEBEA	Bah il faut savoir que le dioxyde de titane a été utilisé très longtemps, il y a très longtemps, sous forme macro
131	Aurélie - Transhumanistes	Oui mais c'est combien très longtemps ?
132	Mathieu - FEBEA	Bah depuis... Enfin depuis que les, les crèmes solaires
133	Aurélie - Transhumanistes	Oui mais depuis combien de temps ?
134	Mathieu - FEBEA	Mais sous forme macro, sous forme macro.

Alors que les autres parlent de manque de recul, l'élève représentant la FEBEA souligne que l'utilisation du dioxyde de titane n'est pas nouvelle. Comme nous l'avons déjà relevé, son cahier d'acteur donne bien des indications sur la durée depuis laquelle cet ingrédient est employé :

> *"Ce filtre minéral est connu pour sa capacité à réfléchir, disperser et absorber les rayons ultra-violets (UV) et à protéger contre les effets délétères induits par une exposition prolongée au soleil. Il est utilisé dans les produits de protection solaire sous la forme de nano dioxyde de titane depuis bientôt 20 ans." (FEBEA)*

Cependant, la FEBEA affirme que c'est sous forme nano qu'il est utilisé depuis au moins 20 ans et non sous forme macro. D'ailleurs, cette fédération ne se réfère jamais à du dioxyde de titane macro dans son cahier d'acteur. Elle parle en revanche du dioxyde de titane sous forme micrométrique :

> *Le TiO_2 sous forme nanométrique présente un double avantage. C'est un filtre solaire plus efficace, notamment pour absorber les UV. En outre, le TiO_2 nanométrique est moins blanc, plus transparent que la forme micrométrique. Les consommateurs appliquent plus volontiers un produit de protection solaire qui ne rend pas le visage ou le corps "tout blanc».*

L'élève mobilise donc un argument issu de son cahier d'acteur puisqu'il met en avant le fait que le dioxyde de titane est utilisé depuis longtemps. Toutefois, il affaiblit l'argument du syndicat professionnel du secteur des cosmétiques en parlant de la forme macro du composé au lieu de la forme nano. Cette substitution ne se retrouve pourtant pas dans ce que le groupe d'élèves avait noté en préparation. Ils n'avaient en effet rien relevé sur la date depuis laquelle le TiO_2 est utilisé dans les crèmes solaires.

C'est alors au tour de l'élève représentant l'INRS d'intervenir, suite à une incitation de la gestionnaire de débat.

135	Béné - Gestionnaire du débat	Est-ce que par contre, peut-être la dame de l'INRS, est-ce que le dioxyde de titane est emblématique de, des autres particules, éventuellement ?
136	Maria - INRS	Euh... Je sais pas... Je sais que c'est utilisé aussi dans les industries et c'est plus ou moins toxique, ça dépend comment... dans quoi on la met, avec quoi on mélange et je pense que. Je suis assez d'accord avec monsieur de... Mon voisin. Et je pense que oui, on n'a pas assez de recul et je pense qu'il faut être vraiment sûr. Il faut, ne pas essayer de soigner avec quelque chose qu'on est pas encore sûr surtout que si ça provoque une autre maladie, c'est encore plus embêtant.

Dans la première partie de sa réponse, l'élève affirme : "Je sais que c'est utilisé dans les industries". Elle mobilise ici sans doute le contenu du cahier d'acteur qu'elle a étudié où il est écrit :

> *"Les nanoparticules et nanomatériaux ne sont pas seulement une curiosité de laboratoire et certains sont déjà une réalité, puisque produits dans des tonnages élevés depuis des années, comme le dioxyde de titane, l'alumine, le noir de carbone ou la silice."(INRS)*

Les élèves avaient par ailleurs fait une fois référence au dioxyde de titane dans leurs documents de préparation du jeu de rôle. Ainsi dans l'un des tableaux, les élèves ont écrit dans la case "quelles positions l'acteur défend-il ?" :

> *"Les nanoparticules et les nanomatériaux ne sont pas une curiosité de labo. mais ont vraiment utilisés dans plusieurs domaines."*

Et l'argument qu'elles ont associé à ce point de vue est le suivant :

> *"→ produits depuis plusieurs années dans des tonnages élevés (dioxyde de titane, noir de carbone, silice)."*

L'élève-actrice déclare ensuite que "c'est plus ou moins toxique". Cette affirmation reste vague. Elle n'en est pas moins cohérente avec ce que l'on peut lire dans le cahier d'acteur de l'INRS, qui souligne que les résultats des études actuellement disponibles sur la toxicité des nanoparticules sont parfois contradictoires.

> *" Il a été montré que certaines nanoparticules, dans des conditions expérimentales, sont capables de franchir les barrières biologiques et de migrer vers d'autres sites de l'organisme (phénomènes de translocation circulatoire et cérébrale). Les données toxicologiques actuelles, bien que parfois contradictoires, incitent par ailleurs à s'interroger sur les risques encourus, y compris pour des composés réputés inertes à plus grande échelle. Un certain corpus de connaissances est en effet en faveur de l'hypothèse d'une plus grande toxicité des nanoparticules, notamment en ce qui concernent les effets inflammatoires pulmonaires, comparativement aux particules micro- et macroscopiques de même nature chimique." (INRS)*

En revanche, quand l'élève dit que la toxicité des nanoparticules *"dépend dans quoi on la met, avec quoi on la mélange"*, il est difficile de dire si elle s'inspire des éléments de son cahier d'acteur, même imprécisément. On peut lire dans ce document que de nombreux facteurs pourraient influer sur la toxicité des nanoparticules.

> *"Les résultats de ces études doivent toutefois être examinés avec prudence. L'approche toxicologique conventionnelle basée sur l'existence de relations dose-effet où la dose est exprimée en masse est remise en question. En effet, dans le cas des nanoparticules, de nombreux paramètres autres que la composition chimique et la*

masse semblent contribuer aux effets toxiques et influencer la pénétration et le devenir des particules dans l'organisme. Sans vouloir être exhaustif, on peut par exemple citer la taille, le nombre et la forme des particules, leur surface, leurs propriétés chimiques de surface ou encore leur état d'agrégation." (INRS)

Cependant, le terme de "mélange" et l'idée : "ça dépend dans quoi on la met" n'apparaissent pas vraiment. Ils ne figurent pas non plus dans les éléments relevés par les élèves sur leurs fiches de préparation du jeu de rôle. Toutefois, il se pourrait que l'élève ait opéré une sorte de glissement de sens et qu'au lieu de parler des multiples paramètres dont dépend la toxicité, elle estime que la toxicité dépend de *"ce avec quoi on mélange les nanoparticules".*

Par ailleurs, lorsque l'élève dit qu'actuellement le recul manque sur la toxicité des nanoparticules, elle s'appuie bien sur le cahier d'acteur où il est écrit :

"Les connaissances sur la toxicité des nanoparticules manufacturées sont encore limitées." (INRS)

La recommandation qu'elle formule ensuite immédiatement "il faut vraiment être sûr" n'est toutefois pas quelque chose qui apparaît textuellement dans le cahier d'acteur de l'INRS. Elle ne figure pas vraiment non plus dans les fiches de préparation des élèves puisque la seule recommandation qu'elles aient noté qui s'approche de cette idée est la suivante :

"Attention aux nanoparticules pour lesquelles il y a peu de données toxicologiques et ceux sont les effets biologiques sont importants."

L'élève s'appuie donc en partie sur le cahier d'acteur pour parler d'absence de recul, mais en tire des conclusions sur l'attitude qu'il convient d'adopter face à cette incertitude qui ne sont pas mentionnées telles quelles dans le cahier d'acteur de l'INRS.

Enfin dans la dernière partie de sa réplique l'élève émet un avis sur l'utilisation de nanoparticules ou non pour soigner des patients.

"Il faut, ne pas essayer de soigner avec quelque chose qu'on est pas encore sûr surtout que si ça provoque une autre maladie, c'est encore plus embêtant."

De nouveau, elle exprime un point de vue absent du cahier d'acteur de l'INRS où il n'est pas fait référence à l'idée de soigner des maladies. En revanche on y peut lire :

"Il convient donc, dans tous les environnements professionnels et tout au long du cycle de vie des produits, de développer un raisonnement basé sur la précaution et de mettre en place des stratégies de prévention adaptées " (INRS)

En un sens, ce que dit l'élève, quoique n'étant pas présent dans le cahier d'acteur n'est pas non plus complètement antagoniste avec ce qui y écrit.

Finalement, dans ces quatre interventions, trois élèves soulignent le manque de recul sur la toxicité des nanoparticules. L'élève représentant la CFE-CGC est le premier à intervenir en ce sens. Il mobilise alors le contenu de son cahier d'acteur mais ne se sert pas de la justification sur le manque d'information qui figure dans ce document, lorsque la gestionnaire de débat lui demande de préciser son propos. L'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes prend alors la parole pour expliciter pourquoi selon lui, le recul manque sur les questions de toxicité. Il invoque alors "les conséquences à long terme de l'utilisation des nanoparticules". La Fondation Sciences Citoyennes mentionne en effet que les nano-produits sont utilisés en l'absence de connaissances de leur impact sur l'environnement et la santé. Il utilise donc le contenu de ce cahier d'acteur même si son intervention ne reprend pas exactement ce que dit cette organisation.

L'élève représentant l'INRS, invoque aussi le manque de recul. Elle en tire des conséquences qui ne sont pas mentionnées dans le cahier d'acteur qu'elle a étudié en recommandant de *"ne*

pas essayer de soigner avec quelque chose qu'on est pas encore sûr surtout que si ça provoque une autre maladie." Cette élève discute aussi de la toxicité du dioxyde de titane. Elle mobilise alors assez imprécisément son cahier d'acteur, estimant que "c'est plus ou moins toxique" ou encore que ça *"dépend dans quoi on la met, avec quoi on la mélange".*

Enfin, l'élève représentant la FEBEA, lui aussi revient sur les questions de manque de recul, mais pour mettre en avant les nombreuses années qui se sont déjà écoulées depuis les premières utilisations du dioxyde de titane dans les crèmes solaires. À cet endroit, il fait référence au contenu du cahier d'acteur qu'il a étudié, mais au lieu de parler de dioxyde de titane nanométrique, il parle de ce composé sous sa forme macro, affaiblissant de ce fait un peu son argumentaire.

La discussion aborde alors un autre thème : celui de l'information des citoyens et de la mise en débat des développements des nanotechnologies.

18.3.8 Mise en débat et information des gens

La première à s'emparer de ces questions est l'élève représentant le CENG. Elle discute de l'information du public, demande la tenue de *"réels débats publics"* , puis s'appuie sur l'exemple de Grenoble pour illustrer son propos.

137	Béné - Gestionnaire du débat	Donc euh *(Cécilia - CENG lève la main).* Oui, vous voulez réagir ?
138	Cécilia - CENG	Moi je trouve que ma collègue a tout à fait raison et en plus, nous on a repéré un problème qui est assez majeur, nous au CENG, qui est que le public n'est pas du tout informé sur les nanotechnologies ; C'est ce que disait tout à l'heure madame des transhumanistes, et que en effet, le public ne sait pas du tout, connaît très peu les nanotechnologies, ne sait pas quels avantages ça a, quels inconvénients, donc nous on voudrait vraiment qu'il y ait des réels débats publics, que les gens soient au courant des nanotechnologies qu'ils savent, bah euh.
139	Béné - Gestionnaire du débat	Oui, donc là on est en train de faire un débat public, donc on essaye justement éventuellement d'aller dans ce sens là.
140	Cécilia - CENG	Oui, mais on pourrait en faire plus, parce que par exemple, pour Grenoble, qui est un pôle réputé, je pense à Minatec. Depuis sa création, il y a eu un seul débat public organisé, quoi. Depuis il n'y en a plus eu, du coup les gens ne sont pas trop au courant.

L'élève-actrice représentant le CENG met le doigt sur un problème qu'elle qualifie de "majeur" : l'absence d'information du public.

Elle propose alors un codage des débats sur les nanotechnologies en termes binaires puisqu'elle déclare que le public *"ne sait pas quels avantages ça a, quels inconvénients".* Elle insiste alors sur l'importance d'organiser de réels débats publics et d'informer les gens.

Comme nous l'avons déjà souligné le CENG indique pour sa part sa volonté de dépasser les approches binaires pour s'intéresser aux logiques d'acteurs et aux processus de prises de décisions.

"Notre propos refuse le choix binaire : pro- techniciste ou anti-techniciste ; pro ou anti- nano. La volonté de dépasser la dimension technique et éthique implique de se situer dans l'espace et le champ du politique : celui des logiques d'acteurs et des rapports entre les acteurs économiques, les experts, les pouvoirs publics." (CENG)

Par ailleurs, à propos de l'information des citoyens le CENG estime dans son cahier d'acteur :

"Notre démarche collective, initiée par des personnes engagées dans des actions d'information et de débat autour des questions posées par le développement des nanotechnologies, cherche à interroger les processus de décisions des collectivités territoriales (Ville, Communauté d'agglomération, Conseil Général, Région Rhône-Alpes). Ces décisions, souvent prises en liaison avec l'État et des entreprises, relèvent d'enjeux et de conditions de mise en œuvre qui intéressent au premier chef les citoyens." (CENG)

ou encore

"Il faut multiplier les actions de formation pour un large public, les actions vers les collectivités publiques pour qu'elles modifient leurs modes de décision, de prendre en compte les demandes des salariés, des scientifiques et techniciens. Le CENG entend prendre sa part la construction d'un nouveau rapport entre développement technologique et société, où le contrôle démocratique prenne toute sa place." (CENG)

Le CENG mène donc des actions d'information et plaide en faveur de la mise en place d'actions de formation. On peut en déduire que cet organisme estime que ces actions sont nécessaires et donc que le "public" n'est pas assez informé. Par ailleurs ce qui transparaît aussi dans ces deux extraits du cahier d'acteur, c'est l'importance que revêt pour le CENG que les citoyens puissent exercer un véritable contrôle démocratique sur les développements des nanotechnologies. C'est en ce sens, nous semble-t-il, que ce collectif déplore l'absence de réels débats publics, en particulier à Grenoble, sur les développements des nanotechnologies. Sur ce point, l'appel à développer les débats publics que formule l'élève à l'oral reste sommaire. Il est donc difficile de savoir si elle établit une distinction entre des procédures permettant une participation citoyenne effective et un pseudo-débat pensé seulement comme une opération d'information ou même de communication.

Le CENG donne de son côté quelques détails à propos de la manière dont il considère les mises en débat des enjeux des développements des nanotechnologies à Grenoble :

> ***Ces enjeux n'ont pas été l'objet de réels débats publics.***

Pourtant, le Président du Conseil général de l'Isère avait envisagé, en 2005, d'organiser des conférences-débat pour mieux informer la population, estimant légitime les inquiétudes des citoyens face aux applications des nanotechnologies. Ce fut sans suite.

> ***Quelques procédures, à peine entamées et vite abandonnées.***

1. Décision de la Métro de mettre en place une mission confiée à P.-B. Joly, relative à la question de la "démocratisation des choix scientifiques à l'échelle locale" (début 2005). Des conclusions, à discuter, laissées en jachère, puis enterrées.

2. Un évènement médiatique Sciences et démocratie de communication institutionnelle en guise de débat public.

3. Le dispositif NanoViv (6 débats sur 3 mois, fin 2006) : un processus auquel les collectivités territoriales n'ont accordé qu'un intérêt mineur, resté sans suite et Thibaultbé dans l'oubli." (CENG)

Pour sa part, dans sa prise de parole, l'élève-actrice déclare qu'un seul débat a eu lieu à Grenoble. En supposant qu'elle fasse référence au cycle de débat NanoViv, elle n'exprime cependant aucune critique sur cette procédure ou sur l'absence de reThibaultbées de ces

débats. Son intervention donne plutôt l'impression qu'elle impute l'absence d'information au faible nombre de débats sans critiquer la conception de ces rencontres.

Enfin, si l'on s'intéresse à ce que les élèves avaient noté lors de l'étape d'étude du cahier d'acteur, on peut voir que les élèves avait mis l'accent sur les problèmes d'information mais aussi de "communication avec le public". Elles écrivent ainsi :

> *" L'acteur est majoritairement pour les nanotechnologies mais il regrete le manque de communication avec le public de la part des entreprises nanotechnologiques qui pourrait entraîner des problèmes pour les travailleurs. "*

On peut lire aussi sur la fiche où les élèves ont classé les thèmes abordés par l'acteur par ordre d'importance :

> *"1) manque de communication et d'information au public*
> *→ pas de réels débats publics*
> *→ Clinatec = opacité et sans contrôle public*
> *→ travailleurs travaillant avec risques car pas informés (ex : mesurage des nanoparticules dans l'air)"*

Enfin, la référence aux mises en débat figurait aussi dans les tableaux de préparation remplis en amont du jeu de rôle, puisque les élèves ont noté dans la case " recommandations que l'acteur formule " :

> *" - Il nous paraît donc important de poser ces questions sur la place publique afin que chaque acteur soit mis devant ses responsabilités propres.*
> *- prendre le temps du débat démocratique inventé de nouvelles formes de participation citoyenne. Multiplier les actions de formation pour un large public. Les actions vers les collectivités public (modifier le mode de décision) prendre en compte les demandes des salariés scientifique et technicien "*

Ici, les élèves ont recopié des extraits du cahier d'acteur qu'elles avaient entre les mains. La mention des débats publics y figure de même que l'idée de *"participation citoyenne"* que l'élève a tu à l'oral.

L'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes se manifeste alors pour revenir sur la tenue de débats publics.

141	Béné - Gestionnaire du débat	Quelqu'un veut réagir sur ces aspects débats publics. Oui ? Monsieur ?
142	Thomas - Sciences Citoyennes	Nous en fait, on voudrait vraiment souligner le fait que la plupart de ces débats publics sont assez... Comment dire, fictifs, les débats, parce qu'il n'y a pas de véritable réflexion et partage. Et quand on regarde avec du recul, on a plus l'impression que c'est pour... pour faire accepter à la population une idée déjà, déjà établie euh de ce qu'on veut... par rapport aux nanotechnologies. Et le fait est que de toute façon, la population est très peu informée, et n'est pas à même de donner des avis constructifs, à participer pleinement à un débat, parce que ils ne comprennent pas tout.
143	Béné - Gestionnaire du débat	Donc vous êtes un peu d'accord avec madame du CENG qui dit que les gens ne sont pas informés, c'est çà ? et vous, vous êtes critiques par rapport au débat public ?

144	Thomas - Sciences Citoyennes	Ouais, bah ouais.
145	Béné - Gestionnaire du débat	Donc vous êtes critique dans le sens où les gens ne sont pas informés et c'est votre point, ou il y a d'autres choses ?
146	Thomas - Sciences Citoyennes	Nan, c'est ça, c'est que les gens ne sont pas, ne sont pas informés.

Dans sa première réplique (142), l'élève formule d'abord trois critiques à l'encontre des débats publics, sans préciser toutefois s'il s'agit de ceux de la CNDP ou non.

Il déclare d'abord que ces débats sont fictifs car il n'y a pas "de véritable réflexion et partage".

Il déclare ensuite que ces débats donnent l'impression qu'ils servent à faire accepter à la population une idée déjà "établie".

Il déclare enfin que la population est très peu informée et qu'elle n'est pas à même de donner "des avis constructifs", car selon lui, les gens "ne comprennent pas tout".

Concernant le cycle de débats de la CNDP, il est en effet écrit dans le cahier d'acteur de la Fondation Sciences Citoyennes :

> *"Ce débat est une opération de communication orientée vers la promotion du développement des nanotechnologies." (FSC)*

L'idée que le débat est fictif et qu'il vise à faire accepter les nanotechnologies est donc présente dans le cahier d'acteur de cette organisation. Il y est d'ailleurs aussi écrit :

> *"Le débat risque de se réduire à une communication d'acceptabilité, à un satisfecit sans recul critique." (FSC)*

En revanche, lorsque l'élève parle d'absence de vraie *"réflexion et partage"* ce qu'il veut dire par là ne nous semble pas très clair. Le terme de réflexion est bien mentionné dans le cahier d'acteur de la FSC.

> *"Les moyens financiers investis dans l'unique but d'accélérer le développement de ces technologies sont dépensés de façon unilatérale, ce qui exclut de facto tout débat public sur les approches alternatives des mêmes problèmes et toute réflexion globale." (FSC)*

Il se pourrait donc que l'élève, même s'il demeure ici très vague, s'appuie en partie sur le contenu du cahier d'acteur qu'il a étudié. Toutefois les mots de "partage" ou même "d'échange" sont absents.

Par ailleurs, on peut lire dans le cahier d'acteur de la Fondation Sciences Citoyennes à propos de l'information de la population participant aux débats publics de la CNDP :

> *"Le Débat public ne permet pas d'évaluer objectivement l'avis de la population, car il cumule des opinions plus ou moins informées représentant souvent des intérêts particuliers incompatibles avec l'intérêt général." (FSC)*

On peut donc supposer que lorsque l'élève, dans la réplique 142, met en avant que *"la population est très peu informée"*, il utilise des choses qu'il a lues dans le cahier d'acteur. Toutefois, la dernière partie de sa réplique où il affirme que la population *"n'est pas à même à donner des avis constructifs, à participer pleinement à un débat, parce que ils ne comprennent pas tout."* ne nous semble pas refléter les prises de position de la Fondation Sciences Citoyennes. La

terminologie “d’avis constructif” n’apparaît textuellement nulle part dans le cahier d’acteur de cette association. Cette organisation emploie pourtant le terme d’avis dans les extraits suivants de son cahier :

> *“L’acceptation publique sociale des nanotechnologies n’est pas considérée comme un préalable essentiel à leur développement. Autrement dit, le pouvoir économique cherche à obtenir cette acceptation coûte que coûte plutôt qu’à recueillir l’avis des citoyens dûment éclairés.” (FSC)*
>
> *“À l’évidence, pour qu’il soit argumenté, l’avis des citoyens doit se nourrir des informations les plus complètes possibles.” (FSC)*

La FSC estime donc que les débats publics tels qu’organisés par la CNDP cumulent des opinions pas forcément bien informées, sans toutefois dire que les citoyens ne seraient pas à même de donner des avis constructifs s’ils disposaient d’une information plus complète. De plus, la FSC ne dit nulle part que les citoyens ne sont pas à même de comprendre les débats. Elle dit simplement qu’ils ne sont pas informés. Ainsi, lorsque l’élève dit que la population *“n’est pas à même à donner des avis constructifs, à participer pleinement à un débat, parce que ils ne comprennent pas tout”,* il verbalise un point de vue ne figurant pas parmi ceux soutenus dans le cahier d’acteur de la Fondation Sciences Citoyennes.

Cette assertion sur l’incapacité des gens à comprendre toutes les questions soulevées par les nanotechnologies n’apparaissait pas non plus dans les fiches remplies par les élèves. À propos de l’information de la population participant au débat, ils avaient seulement écrit :

> *“L’état organise un debat ne permettant pas réélement d’evaluer l’avis de la pop. celle-ci n’étant pas informer. ne peut pas formuler d’avis constructif.”*

Les élèves n’avaient donc pas établi de lien de causalité entre l’idée que les citoyens ne seraient pas à même de “tout comprendre” et le fait que les citoyens ne pourraient pas formuler d’avis constructifs.

Enfin, suite à son intervention dans la réplique 142, la gestionnaire de débat demande à l’élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes de revenir sur les raisons qui fondent le scepticisme qu’il affiche face aux débats publics. Il répond au travers de la réplique 146 et ne met cette fois-ci en avant que le manque d’information. Pourtant, les élèves avaient noté d’autres d’éléments sur leurs fiches de préparation puisqu’ils avaient écrit :

> *“ Trop d’investissement, alors que l’état et les citoyens ne sont pas informés.*
>
> *- Le débat a été lancé trop tard.*
>
> *- Le débat a été lancé pour respecter la démocratie, seulement les investissements ont déjà été faits et l’État n’a pas vraiment l’air d’écouter ce qu’il en résulte.”*

La critique des débats publics de la CNDP que l’élève répercute à l’oral ne fait donc écho qu’à une partie des éléments notés en préparation par les élèves. L’élève passe ainsi sous silence les arguments présents dans le cahier de la Fondation Sciences Citoyennes, consistant à dire que les investissements financiers pour développer les nanotechnologies sont déjà engagés au moment du débat et que les délibérations interviennent trop tard.

> *“Le débat arrive à un moment où la France a investi dans le développement des nanotechnologies depuis au moins une décennie.” (FSC)*

Ces considérations sur l’information des citoyens et la mise en débat des développements des nanotechnologies suscitent alors une réaction de l’élève représentant l’Association Française Trasnhumaniste.

147	Béné - Gestionnaire du débat	*(Aurélie - Transhumanistes lève la main)* oui ?
148	Aurélie - Transhumanistes	Il faudrait chercher d'autres moyens d'information que le débat public, par exemple une campagne organisée par l'État ou euh, l'utilisation de nouveaux, des établissements scolaires.

Dans cette réplique, l'élève-actrice se réfère une fois encore au rôle de l'État.

Comme nous l'avons déjà mentionné l'Association Française Transhumaniste ne fait explicitement référence à l'État qu'à un seul endroit du document qu'elle a fourni à la CNDP. Il s'agit alors pour cette organisation de questionner le degré de contrôle de l'État sur les modifications du corps des individus.

> *"> Cette nouvelle révolution porte également sur les modifications possibles des individus. Se pose alors la question de la liberté accordé à ces derniers et du degré de contrôle exercé par l'Etat. Considérons nous que l'Etat doit légiférer et décider du corps des individus ?" (AFT)*

La référence à l'État que propose donc l'élève-actrice dans cette réplique ne se fait donc pas dans les mêmes termes que ceux de l'Association Française Transhumaniste. Cette association ne recommande en effet nulle part dans son cahier d'acteur de rechercher de nouveaux moyens d'information. Le seul endroit dans ce document où figure quelque chose qui se rapporte à l'information des gens est l'encadré où l'Association Française Transhumaniste se présente en écrivant :

> *"Cette association s'est donnée pour objet de : " diffuser les thématiques et les questionnements relatifs aux technologies susceptibles d'améliorer et de prolonger la vie des individus et de l'espèce humaine. L'association se propose de promouvoir ces technologies, liées notamment au fonctionnement corporel et aux conditions de vie, aussi bien dans les domaines scientifiques, philosophiques, artistiques, etc. "(extrait des statuts de l'association)" (AFT)*

Enfin, dans les fiches remplies en préparation, les élèves n'avaient rien noté sur l'information du public, hormis à l'endroit où ils avaient relevé les missions de cette association et où ils avaient écrit :

> *"Cet acteur a pour mission de mettre à disposition toutes les questions qui se posent sur les nanotechnologie et essayer d'y répondre. Pour cela, il diffuse des document et informe la population"*

Suite à cette intervention de l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste, c'est au tour de l'élève représentant le CNRS et le CEA de se manifester. Comme lors de ses prises de paroles précédentes, elle met en avant les initiatives de ces organismes de recherche.

149	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord. Quelqu'un veut réagir sur ces aspects organisation de débat. Non ? Donc pour vous les problèmes de, de mise en débat des, oui ?
150	Aude - CNRS/CEA	Je ne vanterai que trop les efforts que nous faisons pour avoir un dialogue avec la société. On informe les gens qui s'y intéressent. Je ne pense pas... Enfin, c'est sûr qu'il n'y a peut-être pas énormément de choses mises en place dans les écoles... Certainement pas assez, mais on essaye et pour çà, il faut des aides euh, de tout le monde aussi.

Comme souligné précédemment, l'idée de dialogue avec la société figure bien dans le cahier d'acteur du CNRS et du CEA. Elle avait aussi été repérée par les élèves en préparation du jeu de rôle. Ainsi, dans l'un des tableaux de préparation, les élèves ont écrit dans la case "quelles positions l'acteur défend-il ?"

> *Moins de risques liés aux "Nanos"*

et parmi les arguments mis en avant pour étayer cette position, les élèves ont notamment écrit :

> *"- Dialogue avec la société, formation des personnes"*

De plus, dans un autre des tableaux de préparation, où les élèves ont écrit dans la case "quelles positions l'acteur défend-il ?" :

> *"Les nanosciences et les nanotechnologies jouent un rôle important pour l'économie et l'emploi français."*

elles ont écrit comme "recommandations que l'acteur formule" :

> *"Sensibilisation les citoyens aux "nano" et au CNRS et CEA."*

L'idée de dialogue avec la société et d'information des citoyens avait donc bien été relevée par les élèves étudiant le cahier du CNRS et du CEA en préparation. Toutefois, s'il nous semble que l'idée de sensibilisation des citoyens aux nanos est liée à l'idée d'information des gens que l'élève-actrice met en avant, elle opère un léger glissement de sens en parlant d'informer uniquement "*les gens qui s'y intéressent*".

Par ailleurs, si la dimension de *"dialogue avec la société"* est présente dans le cahier d'acteur et dans les fiches de préparation des élèves, nous n'avons par contre pas repéré le terme d'école, ou d'autre référence au monde scolaire dans les fiches remplies par les élèves ni dans le cahier d'acteur de la CNDP. L'élève ne fait ici que répondre à l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste.

En outre, si le terme aide apparaît une fois dans les fiches remplies par les élèves, (Elles ont écrit comme recommandation sur l'un des tableaux *"aide au financement de ces recherches*"), ces aides mentionnées ne concernent pas le financement d'actions d'information. Nous n'avons par ailleurs rien trouvé à ce sujet dans le cahier d'acteur du CNRS et du CEA. L'élève apporte donc ici dans le débat un élément n'apparaissant ni dans le contenu du cahier d'acteur et ni dans ce qu'elle et son groupe ont relevé en préparation.

Cette succession d'interventions est suivie par celle de l'élève représentant la FEBEA. Il prend la parole pour exprimer son point de vue sur ce qu'il est, selon lui, possible de dire aux non-spécialistes.

151	Béné - Gestionnaire du débat	*(Mathieu - FEBEA levait la main)* Oui ?
152	Mathieu - FEBEA	Je pense que le problème, c'est que... à la population pour l'instant on peut seulement dire que certains risques dont on ne peut pas mesurer l'impact en fait existent mais, vu la, la complexité, je veux dire même les chercheurs ne savent pas tout à fait exactement quels sont les risques liés aux nanotechnologies et je ne pense pas que ce soit très facile d'expliquer ça à une population qui n'a pas forcément une culture euh scientifique très élevée, à un niveau assez élevé pour comprendre les risques liés à, à des choses que même les chercheurs ne maîtrisent pas.
153	Béné - Gestionnaire du débat	Donc vous vous pensez que c'est pas possible de faire une mise en débat, c'est çà ? Que l'information serait impossible
154	Mathieu - FEBEA	Pas au niveau public en tout cas.

Aucun passage dans le cahier d'acteur de la FEBEA ne concerne l'information de la population, hormis, de manière indirecte, le paragraphe qui concerne l'étiquetage des produits cosmétiques contenant des nanomatériaux où il est écrit :

> *"De plus, l'entreprise devra indiquer la présence de ces nanomatériaux dans la liste des ingrédients qui figure déjà obligatoirement sur tous les produits. Une règle d'étiquetage a été prévue à cet effet : nom de l'ingrédient [nano]. Cela donnera par exemple : Titanium dioxide [nano]." (FEBEA)*

L'élève s'exprime donc ici en mobilisant d'autres idées que celles développées dans son cahier d'acteur puisque le syndicat professionnel qu'il représente ne discute pas de la possibilité d'informer les citoyens. De plus, il n'est écrit nulle part dans le cahier de la FEBEA que les non-spécialistes ne peuvent pas comprendre les questions liées à la toxicité des nanoparticules par manque de culture scientifique.

L'élève exprime donc ici un point de vue qu'il extrapole à partir de ce qu'il a lu des positionnements et des arguments de la FEBEA, à moins qu'il n'avance une prise de position strictement personnelle.

L'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes reprend alors la parole. Il renchérit sur les propos de l'élève représentant la FEBEA en déChloént que les gens qui participent aux débats ne seraient pas à même de comprendre de quoi il s'agit.

156	Thomas - Sciences Citoyennes	Ben moi je suis assez d'accord en fait. C'est à dire que de toute façon, les débats qu'on fait c'est des gens, des gens qui participent, la population qui participe au débat, n'est pas à même de vraiment comprendre de quoi il s'agit et donc on arrive, on leur. Je sais pas on leur impose des trucs auxquels ils peuvent pas opposer d'autres choses étant donné qu'ils n'ont...
157	Béné - Gestionnaire du débat	Et donc pour vous, qu'est-ce qu'il faudrait ? Est-ce qu'il faudrait supprimer ces débats ? Parce que Madame a parlé d'un manque de communication qu'elle a semblé présenter comme quelque chose de problématique. Donc est-ce que, quelle est votre, qu'est ce qu'il faudrait faire pour vous ?
158	Thomas - Sciences Citoyennes	Alors supprimer, c'est pas... ça ne donnerait rien en fait. Ce qu'il faudrait, c'est vraiment faire un effort de vulgarisation, plus, plus important et voilà, puis voilà, c'est çà. De toute façon, refaire toutes les choses, ça ne sert pas à grand chose. Donc il faudrait au contraire euh
159	Béné - Gestionnaire du débat	Mais pour vous, il faut.... donc on a une position où vous dites actuellement on a un problème d'information de la population, mais en même temps, il nous a semblé avoir entendu que ben il y avait peut-être des enjeux. Donc quelle est votre position. Madame travaille à diffuser les, ces enjeux. Comment vous réconciliez les deux, c'est à dire comment vous publicisez et puis vous
160	Thomas - Sciences Citoyennes	Bah, je ne sais pas. Effectivement, c'est pas si simple.

L'élève tire une conséquence du contenu de son cahier d'acteur, à savoir que les gens ne *"sont pas vraiment à même de comprendre de quoi il s'agit"* qui n'y figure pas. En effet on peut lire au rang des missions que Sciences Citoyennes revendique :

> *"Elle [La Fondation Sciences Citoyennes] a pour objectif de favoriser et prolonger le mouvement actuel d'appropriation citoyenne et démocratique de la science, afin de la mettre au service du bien commun." (FSC)*

Si cette association partait du principe que les citoyens ne pouvaient pas comprendre les débats, cet objectif serait absurde. Dans le cahier d'acteur de la FSC, ce qui est en cause, c'est la modalité d'organisation du débat public et non la capacité de compréhension des gens qui y participent. En revanche, l'idée que les citoyens vont se voir imposer le développement des nanotechnologies au travers des débats figure bien dans le cahier de la FSC puisqu'on peut y lire :

> *"⇒ Ce débat est une opération de communication orientée vers la promotion du développement des nanotechnologies." (FSC)*

Enfin, suite à cette déChloétion remettant en cause la capacité des gens à comprendre et peser dans les débats, l'élève propose dans la réplique 158 d'abord de ne pas supprimer ces débats et ensuite de faire un effort de vulgarisation.

À propos des alternatives aux débats publics tels qu'ils ont été organisés par la CNDP, on peut lire dans le cahier d'acteur de la FSC :

> *"Le Débat public ne permet pas d'évaluer objectivement l'avis de la population, car il cumule des opinions plus ou moins informées représentant souvent des intérêts particuliers incompatibles avec l'intérêt général. À l'évidence, pour qu'il soit argumenté, l'avis des citoyens doit se nourrir des informations les plus complètes*

possibles. La convention de citoyens, qui combine une formation préalable (où les citoyens étudient) avec une intervention active (où les citoyens interrogent) et un positionnement collectif (où les citoyens discutent en interne puis avisent), apparaît aujourd'hui, et après de nombreuses expériences mondiales, capable de réaliser ces objectifs. Le prix à payer pour cet exercice démocratique est la nécessité logistique de le limiter à un petit nombre de citoyens, tirés au sort, plutôt que de consulter la population entière." (FSC)

Il nous semble donc que la Fondation Sciences Citoyennes ne dit pas vraiment que supprimer les débats n'est pas la solution. Elle dit que le débat public dans sa forme actuelle n'est pas la solution, mais que d'autre formes de délibération, offrant aux citoyens une possibilité d'être réellement informés pourrait constituer une alternative viable et efficace.

Enfin, dans tout son cahier d'acteur, la FSC n'emploie pas le terme de vulgarisation. Elle demande en revanche que les citoyens soient informés pour débattre. Ainsi dans ses propositions elle indique :

"Loi constitutionnelle instituant les Conventions de citoyens chaque fois que cela s'avérera nécessaire. Notre proposition de loi précise les modalités de recrutement et de formation des panélistes, et d'élaboration de leur avis, afin que celui-ci soit préservé aussi bien des opinions mal informées que des intérêts particuliers, et puisse aider les élus dans leurs décisions tout en informant de façon crédible l'ensemble de la population" (FSC)

En parlant de *"vulgarisation"* au lieu d'information, il nous semble que l'élève fait ainsi un glissement de sens par rapport au contenu du cahier d'acteur.

À cet instant, l'élève représentant l'Académie de Médecine se manifeste. Elle aussi revient sur l'information de la population.

161	Lucie - Académie Nationale de Médecine	Moi je pense que il faut informer la population des avantages comme des inconvénients. Par exemple, nous à l'Académie de Médecine, sur les rapports enfin, il y a tout ce qui concerne les problèmes médicaux, mais on n'oublie pas de préciser les risques ni tout ce que, tout ce qui concerne la morale, donc c'est important de, enfin de faire la part des choses entre les inconvénients et les avantages.

Les mots "informer" ou "information" apparaissent dans le cahier d'acteur de l'Académie de Médecine dans les expressions suivantes :

"Si des complications sanitaires, actuellement peu probables, devaient malgré tout survenir, le public en soit informé par la communauté médicale, quelles que soient les considérations économiques ou politiques. La confiance de la population en dépend." (Académie Nationale de Médecine)

Ainsi dans le cahier d'acteur de l'Académie Nationale de Médecine, il est mentionné que ce serait le corps médical qui aurait pour mission de relayer les informations en cas de complication sanitaires et non directement l'Académie de Médecine qui prendrait cela en charge.

Il est aussi fait mention d'information des patients dans l'extrait suivant :

"Comme en toute activité médicale, l'éthique est omniprésente dans les applications des nanotechnologies au domaine de la santé. Les recommandations qui s'y rapportent ont été récemment explicitées dans l'avis 96 du Comité Consultatif National d'Ethique du 01.02.07. Dans ce Rapport, on retrouve leur application soigneuse d'abord à propos de la hiérarchisation forcément ciblée de la recherche biologique fondamentale, tant ce nouveau domaine apparaît immense. On retrouve

aussi cette attitude éthique à propos de la nécessité d'une métrologie nouvelle générant une réglementation évolutive, toutes deux à l'échelle internationale. Il en est de même pour tout ce qui concerne l'information des patients, la traçabilité des substances, la vigilance sanitaire, la médecine du travail et la protection de l'environnement." (Académie Nationale de Médecine)

Au vue de ces extraits, il nous semble que l'élève ne mobilise donc pas vraiment le contenu du cahier d'acteur de l'Académie Nationale de Médecine lorsqu'elle préconise d'informer la population des avantages et des inconvénients des nanotechnologies.

En outre, pour ce qui concerne l'idée de "préciser les risques dans le cas des problèmes médicaux", on peut lire dans le paragraphe intitulé : *"Les risques éventuels des Nano-Technologies pour la santé de l'homme*" du cahier d'acteur de l'Académie Nationale de Médecine :

"Comme toute invention humaine, les nano-technologies présentent un revers : celui de leurs risques potentiels, qui impliquent beaucoup de vigilance. Il appartient aux médecins de se préoccuper aussi bien des risques environnementaux potentiels auxquels les nonanoobjets pourraient exposer la population (notamment par la dispersion non contrôlée des produits usagés), que des risques éventuels encourus, bien sûr par le patient qui en bénéficie, mais aussi par les personnels des entreprises, qui fabriquent ou utilisent des nano-objets dans leurs procédures industrielles. La médecine du Travail est particulièrement concernée dans la prévention de ces risques et la veille sanitaire concernant leurs effets éventuels."

En se référant aux risques et à l'importance de "préciser les risques", l'élève-actrice utilise ici le contenu de son cahier d'acteur, même s'il n'est pas vraiment question ici d'information.

Enfin, le terme de "morale" ne figure pas dans le cahier de l'Académie Nationale de Médecine. En revanche, il y a plusieurs allusions aux questionnements éthiques soulevés par les nanotechnologies. Par exemple on peut lire :

*"**En médecine, les Nanosciences posent des problèmes éthiques nouveaux***

Comme en toute activité médicale, l'éthique est omniprésente dans les applications des nanotechnologies au domaine de la santé. (...)

Deux problèmes nouveaux doivent être soulignés :

Le premier est lié à la définition biologique de chaque individu qui permettra de le soigner au mieux. Mais il serait inadmissible que ces informations personnelles de nature privée risquent d'être communiquées, tant aux autorités de l'Etat qu'à l'ensemble des membres de la société. C'est pourquoi, l'efficacité des procédures qui assurent la protection de ces éléments doit être régulièrement vérifiée, et c'est justement parce qu'elle l'est aujourd'hui, que ces risques de dérive sont en pratique bien maîtrisés.

Par ailleurs est-il bon ou dangereux pour la santé d'un individu qu'il soit informé de ses propres caractéristiques biologiques ? Cette question va vite se poser. Car ces informations permettent de prévoir l'avenir et celui de notre descendance. Certes, c'est avec une probabilité qui est mal connue ; mais surtout, cette probabilité est difficilement appréciable sans une solide culture biologique.

Par ailleurs, le risque de nouvelles tentatives d'eugénisme doit toujours être redouté afin d'être rapidement combattu, même s'il a toujours existé, quel que soit le niveau technique de l'humanité." (Académie Nationale de Médecine)

Le terme de "moral" figure par ailleurs sur l'une des fiches de préparation des élèves : à la question "quels aspects du développement des nanosciences et des nanotechnologies sont importants pour cet acteur ? Ils ont en effet alors noté :

- qualité du diagnostic
- qualité des traitements
→ amélioration de la médecine
- risques : - liés à la santé de l'homme
- environnementaux
- mise en place de précautions
- la place de la société (problème moral ?)

De plus, les élèves ont noté que selon l'Académie de Médecine *" les nanosciences et les nanotechnologies posent un problème d'éthique."*

Les arguments qu'ils ont relevés pour défendre ce point de vue sont :

> *"- diffusion potentielle des informations personnelles*
> *- est-il dangereux que chacun soit informé de ses propres caractéristiques biologiques ?"*

L'élève ici ne fait donc qu'une très brève allusion à ce que les élèves avaient noté en préparation du jeu de rôle.

Enfin, l'élève représentant le CNRS et le CEA prend une dernière fois la parole. Elle ne parle plus exactement de mise en débat ou d'information des citoyens, mais souligne une fois encore les efforts déployés par ces organismes de recherche pour mettre en place ce qu'ils désignent par l'expression d' "approche responsable".

162	Béné - Gestionnaire du débat	*(Aude - CNRS/CEA lève la main)* oui ?
163	Aude - CNRS/CEA	Dans faire la part des choses, on n'est plus la caricature du scientifique qui ne cherche que le progrès parce exemple nous, on a quand même engagé des, des philosophes pour, pour aider à une réflexion sur l'éthique dans notre société, sur l'éthique, sur le rapport à la société et euh...

La terminologie de "caricature du scientifique" n'apparaît pas dans le cahier du CNRS et du CEA.

Toutefois on peut lire

> *"Les bénéfices ou les risques qui pourraient en découler ont amené les deux organismes à s'engager dans une approche responsable. La sécurité, comme les préoccupations éthiques et le dialogue avec la société, sont des éléments de cette approche."*

De plus, ces organismes de recherches détaillent leurs initiatives pour *"mettre en place une démarche responsable"*. Il nous semble donc que lorsque l'élève se défend d'être une "caricature du scientifique", elle fait écho à cette revendication du CNRS et du CEA d'être les artisans d'une *"démarche responsable"*.

Enfin, le CNRS et le CEA n'écrivent pas exactement qu'ils ont engagé des philosophes, mais ils soulignent effectivement qu'ils mènent une réflexion éthique avec des philosophes.

> *""Les organismes de recherche s'engagent à évaluer et maîtriser les risques, à étudier les effets des nanotechnologies sur l'homme et sur la société et enfin à renforcer les échanges entre scientifiques et citoyens. Ils travaillent ainsi sur les points suivants :*
> *(...)*
> *> la réflexion sur une éthique à construire, avec l'aide de philosophes et en complément des cadres légaux existants (expérimentation humaine, expérimentation animale, informatique et liberté...). L'éthique désigne l'ensemble des valeurs et principes qui régissent l'action individuelle et collective."*

Ainsi, dans cette intervention, l'élève utilise le contenu du cahier d'acteur qu'elle a étudié. Certains de ces éléments peuvent d'ailleurs être mis en relation avec ce que les élèves ont noté en préparation du jeu de rôle. Dans l'un des tableaux auquel nous avons déjà fait référence, à la question "Quelles positions l'acteur défend-il ?", les élèves ont ainsi écrit :

> *"Moins de risques liés aux "Nanos"*

Dans la case "Arguments pour étayer ses positions", elles ont aussi inscrit :

> *"- Evaluation des risques pour la sécurité des personnes*
> *- Réflexion sur l'éthique*
> *- Annalyse des répercutions possibles sur la société*
> *- Dialogue avec la société, formation des personnes"*

Enfin, dans la case "recommandations que l'acteur formule", elles ont noté :

> *"Faire confiance aux "nano" et aux chercheurs"*

L'idée que les chercheurs ne seraient plus la "caricature du scientifique" mise en avant par l'élève-actrice ne figure pas telle quelle dans les fiches de préparation des élèves. Cependant cette dernière recommandation y fait écho.

Finalement, le thème de l'information des citoyens et de la mise en débat des nanotechnologies suscite plusieurs interventions.

La première à intervenir sur le sujet est l'élève-actrice représentant le CENG. Elle souligne l'importance d'informer la population des avantages et des inconvénients des nanotechnologies puis formule le souhait que soient organisés de réels débats publics. En opposant ainsi avantages et inconvénients, cette élève-actrice ne reprend pas vraiment ici l'idée formulée par le CENG de dépasser les oppositions binaires "pour ou contre les nanotechnologies" pour examiner les logiques et les rapports entre acteurs.

Par ailleurs, chacune de ses références à l'intérêt d'une mise en débat des nanotechnologies est immédiatement suivie de considérations sur l'absence d'information de la population à laquelle il faudrait remédier. Cet enchaînement qui se répète à deux reprises peut donner l'impression que les mises en débat que l'élève-actrice représentant le CENG appelle de ses vœux, seraient là essentiellement pour informer la population.

Cet accent sur l'importance d'informer la population, doublée d'un balancement entre inconvénients et avantages des nanotechnologies se retrouve dans la bouche de l'élève représentant l'Académie de Médecine. Dans le cahier d'acteur de cette société savante, il n'est toutefois pas vraiment question d'information des citoyens, hormis en cas de crise sanitaire ou lorsque les individus se retrouvent dans la position de patients. Par ailleurs, l'élève-actrice dévolue dans ses propos un rôle d'information à l'Académie de Médecine, alors que ceci n'apparaît pas vraiment dans le cahier d'acteur. Enfin, mobilisant le contenu de son cahier d'acteur où il est question de risques sanitaires et environnementaux et des "problèmes éthiques nouveaux" posés par les nanotechnologies, elle précise aussi que l'information doit traiter également des risques et des questions de "morale" soulevées par les nanotechnologies.

L'élève représentant le CNRS et le CEA prend ici aussi la parole à deux occasions. D'abord, elle "vante" les efforts déployés par ces organismes de recherche pour instaurer un dialogue avec la société ; ensuite, elle met en avant que les chercheurs ne sont plus aujourd'hui "la caricature du scientifique" et que le CNRS et le CEA s'efforcent de mener une réflexion éthique et une réflexion sur le rapport à la société. Elle porte alors à l'oral des éléments de son cahier d'acteur relatifs à la "démarche responsable" mise en valeur par le CNRS et le CEA dans le document qu'ils ont fourni à la CNDP.

Trois autres élèves reviennent aussi sur ces questions d'information des citoyens et de mise en débat.

D'abord, l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste, propose, dans une courte intervention, de chercher de nouveaux moyens d'information. Proposant alors des idées

qui ne sont pas mentionnées dans son cahier d'acteur, elle suggère que l'État organise une campagne d'information ou que des actions soient mises en place dans les écoles.

De son côté, l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes critique les mises en débat qui ont été proposées sur les nanotechnologies sans toutefois mentionner s'il s'agit ou non de celles de la CNDP. Mobilisant certains éléments figurant dans le cahier d'acteur de la Fondation Sciences Citoyennes , il déclare que ces délibérations sont fictives car elles ne permettent pas de "réelle réflexion et partage". Il indique aussi que ces débats donnent l'impression d'être organisés pour faire accepter des "choses déjà établies". Enfin, il pointe également le peu d'information du public, puis soutenant un point de vue que n'exprime pas la Fondation Sciences Citoyennes, il déclare que la population n'est pas à même de comprendre. Il ré-itére d'ailleurs cette affirmation un peu plus tard. Là, interrogé par la gestionnaire de débat sur la manière de permettre la participation de citoyens dûment informés, il ne reprend pas les propositions de la Fondation Sciences Citoyennes sur l'organisation de conférences de citoyens mais propose de mettre en place des actions de vulgarisation.

Enfin, l'élève représentant la FEBEA intervient aussi pour donner son avis sur l'information et la mise en débat des nanotechnologies. Faisant écho aux propos de l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes, il indique lui aussi que les citoyens ne sont pas à même "de comprendre les risques liés à des choses que les chercheurs ne maîtrisent même pas". Il soutient alors un point de vue qui n'apparaît pas dans le cahier d'acteur de la FEBEA puisque cette fédération d'industriels n'aborde les questions d'information de la population en général que sous l'angle de la mise en place d'un étiquetage des nano-produits.

Cette série d'échanges sur l'information de la population et la mise en débat des nanotechnologies se termine quand la gestionnaire de débat sollicite l'élève-acteur représentant les Amis de la Terre. Cet élève déclare n'avoir pas grand chose à dire sur "la communication" et intervient finalement sur les effets des nanoparticules sur l'environnement.

18.3.9 Utilisation des nanoparticules et impacts environnementaux

L'élève représentant les Amis de la Terre mentionne ici l'exemple de l'effet de certaines nanoparticules sur les plants de riz.

164	Béné - Gestionnaire du débat	Peut-être... il y a certaines personnes, il y a les Amis de la Terre par exemple qu'on n'a pas beaucoup entendu. Est-ce que vous avez quelque chose à dire là dessus ?
165		*(Rires des observateurs)*
166	Corentin - Amis de la Terre	Nous on n'a pas beaucoup travaillé sur la communication et tout, c'était plus sur l'environnement.
167	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord. Eh bien allez-y, on veut bien vous entendre.
168	Corentin - Amis de la Terre	Bah déjà, ça a des gros effets néfastes sur l'environnement, les nanotechnologies. Par exemple avec l'exemple du riz qui lorsqu'il est exposé à des nanoparticules, il peut subir des impacts importants, donc euh, au lieu, enfin on a vu aussi.
169	Béné - Gestionnaire du débat	Je crois, enfin, je crois qu'il y a quelqu'un qui n'a pas très bien entendu ce que vous avez dit. Est-ce que vous pourriez nous redonner... Excusez moi.

170	Corentin - Amis de la Terre	C'est pas grave. Euh, bah alors, ça a de gros impacts sur l'environnement, les nanotechnologies, par exemple, avec l'exemple du riz, qui lorsqu'il est exposé à des nanoparticules, peut subir des impacts importants. Du coup... voilà.

Dans cet extrait de la discussion, l'élève indique que son groupe a essentiellement détaillé les questions liés à l'impact du développement des nanotechnologies sur l'environnement. Pourtant, ils avaient en effet noté sur leurs fiches de préparation à la question "quels aspects du développement des nanosciences et des nanotechnologies sont importants pour cet acteur ?" :

> *"Les aspects du developpement des nanosciences et des nanotechnologies qui sont importants pour cet acteur sont :*
> $$\begin{cases} -economique \\ -sanitaire \\ -environnemental \\ -social \end{cases}$$
> $\rightarrow$ *les risques sont liés aux nanotechnologies"*

De plus dans l'un des tableaux de préparation du jeu de rôle, dans la case "Quelles positions l'acteur défend-il ?", les élèves ont écrit :

> *"Les effets néfastes des nanotechnologies et des particule sur le corps humain, l'environnement et enfin sur le contrôle social."*

Enfin, sur la fiche où les élèves devaient classer les arguments des Amis de la Terre, ils ont classés en 1ère position les aspects sanitaires et en 2ème les aspects environnementaux. Ils expliquent cette hiérarchisation de la manière suivante :

> *"Nous avons décider de mettre en 1 le thème concernant les sanitaires car c'est celui que developpe le + l'auteur, c'est le + long. C'est aussi celui qui nous concerne tous et c'est pour cela que l'auteur le developpe bcp.*
>
> *Ensuite, en 2 vient l'environnement car c'est un thème très présent dans les débats en ce moment et qui préoccupe tout le monde."*

Si, à l'oral, l'élève aborde ici uniquement les questions environnementales, d'autres dimensions de questionnement présentes dans le cahier d'acteur des Amis de la Terre avaient été répertoriées par son groupe en préparation. La focalisation sur les questions sanitaires et environnementales de l'élève-acteur est toutefois peut-être à mettre en lien avec le classement des thèmes que lui et son groupe ont proposé.

Cet élève illustre ensuite par un exemple les "effets néfastes des nanotechnologies" sur l'environnement : celui des effets sur les plants de riz, tiré du cahier des Amis de la Terre.

> *Les Amis de la Terre / FOE, dans leur rapport " Du labo dans nos assiettes : les nanotechnologies dans l'alimentation et l'agriculture », rappellent que " des études environnementales récentes laissent penser aussi que ces namomatériaux peuvent être toxiques pour des espèces écologiquement importantes ». En février 2009, une équipe de l'Université de Clemson (USA) publie une étude (Uptake, translocation, and transmission of carbon nanomatérials in rice plants) mettant en évidence que le riz, exposé à des nanoparticules peut subir des impacts importants. (Les Amis de la Terre)*

L'élève-acteur représentant les Amis de la Terre s'appuie donc sur le contenu du cahier d'acteur lorsqu'il mentionne ces "effets néfastes sur l'environnement" et l'impact des nanoparticules sur le riz. Il ne mentionne cependant pas la source de l'étude dont il cite les résultats.

Le contenu de son intervention suscite alors une réaction de l'élève représentant la FEBEA. Celui-ci affirme que les entreprises travaillant dans le secteur des cosmétiques mettent au point des formulations libérant les substances actives éventuellement nanoparticulaires au bon endroit, évitant ainsi de les diffuser dans l'environnement.

171	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord. *(Mathieu - FEBEA lève la main).* Donc peut subir des impacts importants avec des nanoparticules. Donc oui, allez-y.
172	Mathieu - FEBEA	Nous, en cosmétique, en fait, nous utilisons des nanocapsules qui permettent de contenir les produits euh, les produits de taille nano et de les libérer uniquement par exemple, dans notre cas, au contact de la peau, ce qui fait que... Elles ne sont pas diffusées dans l'environnement et enfin, elles sont juste là où elles font juste ce qu'elles doivent faire ;
173	Béné - Gestionnaire du débat	Mais, euh, monsieur parlait de risques pour l'environnement et donc vous, vous nous dites que ça...
174	Mathieu - FEBEA	Bah, des mesures sont prises, sont mises en place quand même pour ne pas euh... pour ne pas avoir trop de risque pour, pour *(inaudible).*

La FEBEA parle en effet dans son cahier d'acteur de nano-capsules :

> *"**Les nanoformulations liquides***
> *Ces nanoformulations regroupent des nano-émulsions et des nano-capsules."*
> *"Les nano-formulations ont plusieurs avantages, en terme d'efficacité du produit d'une part, de texture d'autre part. En terme d'efficacité, elles permettent de protéger des éléments actifs mais fragiles à l'air, comme les vitamines, dans des systèmes nanométriques appelés liposomes ou nano-capsules." (FEBEA)*

Les auteurs du cahier de la FEBEA expliquent aussi que ces capsules se désagrègent au contact de la peau :

> *"Au contact de la peau, ces structures* [liposomes ou nano-capsules] *de taille nanométrique se désagrègent et libèrent les éléments qu'elles contiennent, préservés de l'oxydation. Les ingrédients actifs restent ainsi efficaces pendant la conservation du produit et sont libérés là où ils agissent." (FEBEA)*

En revanche, nous n'avons pas relevé de passage où les auteurs du cahier de la FEBEA mettaient en avant l'utilisation des nanocapsules pour étayer le fait que les produits cosmétiques ne nuisaient pas à l'environnement. L'élève mobilise donc dans son intervention des éléments de son cahier d'acteur et établit un lien entre protection de l'environnement et utilisation de nanocapsules inexistant dans ce document.

À ce propos, si l'on regarde sur les fiches remplies par les élèves, l'allusion aux nanocapsules apparaît aussi et le lien avec la prévention des risques pour l'environnement est également présent. Ainsi à la question "quels aspects du développement des nanosciences et des nanotechnologies sont importants pour cet acteur ?", le groupe d'élève a notamment écrit :

> *"- nano-émulsions contenues dans des nano-capsules $\Longrightarrow$ permet de contenir des huiles san donner une texture grasse au produit.*
> *- les nano-formulations (groupement de nano-capsules et de nano-émulsions) se désagrègent au contact de la peau et libèrent le produit contenu."*

et sur la fiche 2 où les élèves devaient classer les arguments, ils ont rangé en 2 :

"Nanoformulations se désagrègent au contact de la peau : permet de libérer le produit quand c'est prévu et donc d'éviter les risques environnementaux."

Dans la réplique 172, l'élève représentant la FEBEA s'appuie donc sur le contenu de son cahier d'acteur pour intervenir mais il va plus loin que ce que le syndicat professionnel qu'il représente y écrit. Cette extrapolation effectuée à partir du cahier d'acteur figurait de plus dans ce qu'avait écrit les élèves en préparation.

Enfin, dans la réplique 174, l'élève semble laisser entendre que des mesures sont prises pour limiter les impacts des nanoparticules que l'industrie cosmétique utilise pour l'environnement. Pour ce qui concerne la prise en compte par l'industrie cosmétique des effets des nanomatériaux sur l'environnement, on peut pourtant seulement lire dans le cahier d'acteur de la FEBEA :

"En ce qui concerne les nanomatériaux solides en général, le même avis du CSPC [Comité Scientifique pour la Sécurité des Consommateurs] *reprend les interrogations soulevées plus haut sur l'éventualité d'une plus grande réactivité moléculaire, sur le passage à travers des barrières naturelles et sur l'empreinte environnementale. Dans le cadre des questions actuellement posées sur la sécurité des nanomatériaux utilisés en cosmétique, l'Industrie cosmétique poursuit ses travaux : des études scientifiques sont en cours afin de préciser les propriétés des nanomatériaux solides et d'en confirmer l'innocuité, notamment dans le cadre de REACh et des programmes mondiaux sur l'évaluation des nanotechnologies." (FEBEA)*

La FEBEA déclare donc travailler pour mieux identifier les risques pour l'environnement des nanotechnologies, mais sans pour autant souligner que les industries cosmétiques prendraient des mesures particulières pour limiter l'impact environnemental des nanomatériaux. En ce sens, il nous semble que l'élève représentant la FEBEA va de nouveau au delà du contenu du cahier d'acteur dans son intervention. Par ailleurs dans les fiches de préparation remplies en amont du jeu de rôle, hormis les références concernant les nanoformulations répertoriées dans la case ci-dessus, les élèves ont écrit :

" L'industrie du cosmétique pionnière en terme de sécurité"

En déChloént que des mesures sont mises en place "pour ne pas avoir trop de risques," l'élève s'appuie ainsi peut-être sur ce que lui et son groupe avaient noté à cet endroit.

La gestionnaire du débat sollicite alors de nouveau l'élève représentant les Amis de la Terre pour qu'il réponde à cette remarque des l'élève représentant la FEBEA.

175	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord, oui. *(Aude - CNRS/CEA, Aurélie - Transhumanistes et Cécilia - CENG lèvent la main)* Peut-être juste le monsieur des Amis de la Terre, vous vouliez réagir sur ce qui a été dit ?
176	Corentin - Amis de la Terre	Ouais, a priori elles ne sont pas nécessaires, parce que sur les 70 millions d'euros qui ont été mis en jeu, il y en a pas assez qui ont été mis, mis en place pour euh, pour protéger l'environnement, d'après *(?- je ne suis pas sûre du "d'après")* les études qui ont été faites.

Lorsque l'élève représentant les Amis de la Terre entame son intervention, il affirme que les mesures de l'industrie cosmétique ne sont pas nécessaires. Ceci va a priori à l'encontre du contenu du cahier d'acteur qu'il a étudié en préparation où les Amis de la Terre déplorent l'absence de prise en compte de la toxicité et de l'écotoxicité des nanomatériaux.

Ainsi il répond un peu en décalé à l'élève de la FEBEA alors que son cahier traitait justement du cas particulier des produits cosmétiques.

"Les Amis de la Terre / Friends of the Earth États-Unis listaient déjà, en juin 2006, 116 crèmes solaires, produits cosmétiques et de soins corporels, alors qu'ils n'étaient soumis à aucune étude de risque indépendante ni soumis à aucune réglementation. " Des produits "miracles", nous en avons vus ! Ne serait-ce que l'amiante, le DDT, les PCB et encore la liste ne s'arrête pas là ! À voir l'incapacité de nos gouvernements à prendre au sérieux les premiers avertissements concernant les nanomatériaux, on peut penser qu'ils n'ont tiré aucune leçon de cette longue liste de désastres ! "("Nanomaterials, Sunscreens and Cosmetics : Small Ingredients, Big Risks", Rapport disponible sur le site des Amis de la Terre : http ://www.amisdelaterre.org/ Nanoproduits-petites-molecules. html)" (Les Amis de la Terre)

En revanche, la déChloétion de l'élève sur la proportion dérisoire de fonds accordés à la protection de l'environnement mobilise des éléments issus du cahier d'acteur, même si l'élève modifie quelque peu les propos des Amis de la Terre.

"Alors que des nanomatériaux entrent déjà dans la composition de centaines de produits commercialisés, des études récentes mettent en évidences des risques majeurs pour la santé et l'environnement. Les fonds alloués aux études toxicologiques sont dramatiquement dérisoires comparés à ceux octroyés aux applications des nanotechnologies. Exemple frappant : sur les 70 millions d'euros par an de fonds publics qui vont être accordés aux entreprises et centres de recherche dans le cadre du projet NanoInnov, pas un centime ne sera attribué aux études toxicologiques ; " les nanotechnologies ne posent pas de problèmes nouveaux en matière de risques "estiment les porteurs du projet. (Les Amis de la Terre)

On retrouve bien la référence aux 70 millions d'euros. Toutefois ici les Amis de la Terre déplorent l'absence d'investissements dans les études toxicologiques et non l'absence de fonds attribués à la protection de l'environnement.

Les quelques mots que prononce l'élève sur l'inutilité des mesures mises en place par l'industrie cosmétique sont peut-être dûs au fait qu'un peu déstabilisé à l'oral, il dise l'inverse de ce qu'il souhaite exprimer. En effet, dans les tableaux de préparation remplis par les élèves avant le jeu de rôle, lui et son groupe avaient écrit :

"Avant de continuer le développement des nanoparticules, il est indispensable que tous les problèmes (sanitaires, environnementaux, sociaux, économiques) soient resolus et que des solutions soient apportées afin de respecter les principes de précaution. Pour les Amis de la Terre, un moratoire sur la recherche et la commercialisation des nanotechnologies est la seule attitude raisonnable."

Il nous semble donc que lorsque cet élève dit que les mesures de l'industrie cosmétique ne sont pas nécessaires, il va d'une certaine manière à l'encontre de la recommandation que son groupe avait relevé lors de la préparation du jeu de rôle.

Enfin, la gestionnaire de débat sollicite l'élève représentant l'INRS après que l'élève représentant les Amis de la Terre ait abordé la question de protection de l'environnement.

177	Béné - Gestionnaire du débat	Peut-être madame de l'INRS, est-ce que vous, vous avez des choses à nous dire sur la toxicité pour l'environnement des nanoparticules ?
178	Maria - INRS	Euh. Euh non, juste, si c'est toxique pour l'environnement, est-ce que ça serait pas toxique pour l'homme, parce que
179	Béné - Gestionnaire du débat	Donc vous vous travaillez donc sur la toxicité pour les humains
180	Maria - INRS	Plutôt oui.

L'élève botte en touche. Le terme environnement n'apparaît d'ailleurs pas dans les fiches de préparation des élèves.

Effectivement, le contenu du cahier d'acteur ne recèle que peu d'éléments sur les conséquences de l'utilisation des nanoparticules et des nanomatériaux pour l'environnement. Le terme d'environnement apparaît toutefois dans le passage suivant du cahier de l'INRS :

> *"Ces études ne donnent que très rarement une information quantitative des expositions (niveaux des concentrations, durée d'exposition, tailles des nanoparticules, etc.). Certaines informent toutefois sur les quantités produites, utilisées et stockées, les usages, les stratégies de prévention mises en œuvre au poste de travail pour protéger les opérateurs et l'environnement." (INRS)*

On ne retrouve en revanche nulle part l'interrogation qu'elle propose ici : *"si c'est toxique pour l'environnement, est-ce que ça serait pas toxique pour l'homme".*

Finalement, au travers de ces différentes interventions portant sur les effets des nanoparticules sur l'environnement, l'élève représentant les Amis de la Terre commence par affirmer que son cahier d'acteur traite essentiellement des questions environnementales. Lui et son groupe avaient relevé également d'autres thématiques en préparation du jeu de rôle. Toutefois, dans leur hiérarchisation des thèmes arbordés par l'acteurs, ils ont accordé la prééminence aux questions sanitaires et environnementales. Pour ce dernier volet de questionnements, ils avaient en particulier expliqué que c'est un *"thème très présent dans les débats en ce moment et qui préoccupe tout le monde."*

L'élève représentant les Amis de la Terre indique ensuite que les nanotechnologies peuvent avoir des effets néfastes pour l'environnement. Pour appuyer ce point de vue, il mobilise alors les résultats d'une étude sur l'impact environnemental de nanoparticules sur les plants de riz, citée par les Amis de la Terre dans leur cahier d'acteur.

Cette intervention suscite une réaction de l'élève représentant la FEBEA qui ramène la discussion sur le terrain des cosmétiques. Utilisant le contenu de son cahier d'acteur, il explique que, dans ce secteur, des nanocapsules sont utilisées pour amener le composé actif et le libérer au bon endroit. Il ajoute que cela évite la dissémination de produits de taille nanométrique dans l'environnement. Ce dernier point n'apparaît en revanche pas dans le cahier de la FEBEA. Enfin, il conclut son intervention en assurant que des choses sont faites pour "prendre en compte les risques".

Sollicité par la gestionnaire de débat, l'élève représentant les Amis de la Terre intervient de nouveau. Il commence par prendre une position qui va à l'encontre de ce qu'on peut lire dans le cahier d'acteur de cette association et dans les fiches de préparation remplies par les élèves en estimant que les "mesures de l'industrie cosmétiques ne sont pas nécessaires". Il déclare ensuite, en s'inspirant du cahier d'acteur des Amis de la Terre, qu'au regard des 70 millions d'euros dédiés aux développements des nanotechnologies, les investissements alloués à la protection de l'environnement sont insuffisants.

Enfin, également invitée à s'exprimer par la gestionnaire de débat, l'élève représentant l'INRS n'intervient pas sur les questions d'impact des nanoparticules sur l'environnement.

Elle glisse seulement *"si c'est toxique pour l'environnement, est-ce que ça serait pas toxique pour l'homme",* mais ne mobilise pas vraiment ici le contenu du cahier d'acteur de l'INRS.

18.3.10 Réglementation et protection des données médicales

Alors que la conversation a abordé la question de la toxicité des nanoparticules pour l'environnement, la gestionnaire de débat sollicite de nouveau l'élève de la CFE-CGC.

181	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord, et peut-être qu'au niveau des syndicats, vous avez quelque chose à dire là dessus.
182	Cédric - CFE-CGC	Moi ce que je voulais dire c'est que, les cosmétiques prennent des mesures, bah c'est bien mais comme il n'y a pas de réglementation, il y a pas sûrement mal d'entreprises qui ne vont pas prendre des mesures de sécurité comme ils le font. Il y a aucune réglementation sur les mesures euh...
183	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord donc il y a un problème de réglementation vous dites actuellement
184	Cédric - CFE-CGC	Voilà
185	Béné - Gestionnaire du débat	Il n'y a pas de réglementation sur euh, sur l'utilisation de ?
186	Cédric - CFE-CGC	des nanotechnologies

Sur les fiches remplies par les élèves, à la question "quels aspects du développement des nanosciences et des nanotechnologies sont importants pour cet acteur ?", ils ont notamment écrit :

> "*mettre en place des réglementations sanitaires*"

En revanche, nous n'avons pas repéré dans les fiches de préparation du jeu de rôle d'élément concernant les conséquences de l'absence de réglementation. En particulier, les élèves n'ont pas écrit que les industriels ne vont pas nécessairement prendre de mesures de sécurité.

De son côté, la CFE-CGC aborde bien la question de l'encadrement réglementaire dans son cahier d'acteur.

> *"La puissance publique doit utiliser davantage son pouvoir normatif et réglementaire pour favoriser la mise sur le marché de produits moins agressifs pour l'environnement et non toxiques pour la santé humaine. L'élaboration de normes européennes dans ce domaine serait d'ailleurs particulièrement utile pour à la fois prévenir des risques liés à l'importation de produits qui ne respecteraient aucune norme, mais également pour garantir aux citoyens un minimum de précautions prises avant la mise sur le marché de produits et services intégrant des nanocomposants." (CFE-CGC)*

Ce syndicat s'intéresse donc à l'aspect réglementaire, mais sous l'angle de la protection des citoyens. En outre, la CFE-CGC estime qu'il faudrait que la puissance publique utilise "davantage" son pouvoir réglementaire. L'élève-acteur radicalise donc ce que dit ce syndicat en affirmant qu' *"il n'y a pas de réglementation"*.

Par ailleurs, lorsque l'élève déclare

> *"comme il n'y a pas de réglementation, il y a pas mal d'entreprises qui ne vont pas prendre des mesures de sécurité".*

il extrapole aussi à partir du contenu du cahier d'acteur de la CFE-CGC.

L'élève représentant la CNIL se manifeste alors spontanément pour rebondir sur cette demande de réglementation.

188	Diana - CNIL	Je suis d'accord avec lui.
189	Béné - Gestionnaire du débat	Oui allez-y oui.
190	Diana - CNIL	Il faudrait instaurer des, des règles pour contrôler les utilisations et des contrôles de ces nanotechnologies.
191	Béné - Gestionnaire du débat	(Aude - CNRS/CEA lève la main) D'accord donc monsieur parlait des, des contrôles pour l'utilisation des nanotechnologies du point de vue nanoparticules, c'est çà ?
192	Cédric - CFE-CGC	Euh, en général.
193	Béné - Gestionnaire du débat	En général. Et donc vous, c'est les nanotechnologies, les nanoparticules ou d'autres choses plus particulièrement ?
194	Diana - CNIL	Plus les puces et les technologies qui peuvent,... qui peuvent permettre enfin *(plusieurs mots inaudibles)...* qui peut rendre notre vie privée euh...
195	Béné - Gestionnaire du débat	Alors comment, dans quelle mesure... Donc vous, vous êtes plutôt sur il faut régulariser parce que on peut implanter des puces et ça met, ça menace notre vie privée ;
196	Diana - CNIL	Ouais. ça peut...
197	Béné - Gestionnaire du débat	Dans quelle mesure ? Est-ce que vous pouvez nous expliquer un peu pourquoi vous dites çà ?
198	Diana - CNIL	Bah, ils peuvent, les nanotechnologies peuvent avoir des, des virus ou des gens qui peuvent nous contrôler nos... nos
199	Béné - Gestionnaire du débat	Oui mais ce que je voudrais comprendre en fait c'est, vous dites donc on implante des choses dans le corps, est-ce que c'est uniquement implanté dans le corps et comment en fait ça pourrait menacer nos vies privées, pour vous ? Qu'est-ce que vous en pensez ?
200	Diana - CNIL	Euh... Bah euh...
201	Béné - Gestionnaire du débat	Si vous ne voyez pas trop, on peut... On peut... votre voisine a demandé la parole

Comme nous l'avons déjà signalé au paragraphe 18.3.3, la demande de mise en place d'un encadrement réglementaire de l'utilisation des nanotechnologies figure bien dans le cahier d'acteur de la CNIL. Il en va de même pour la mention du contrôle des personnes.

Par contre, c'est la première fois que l'élève fait allusion à "des virus".

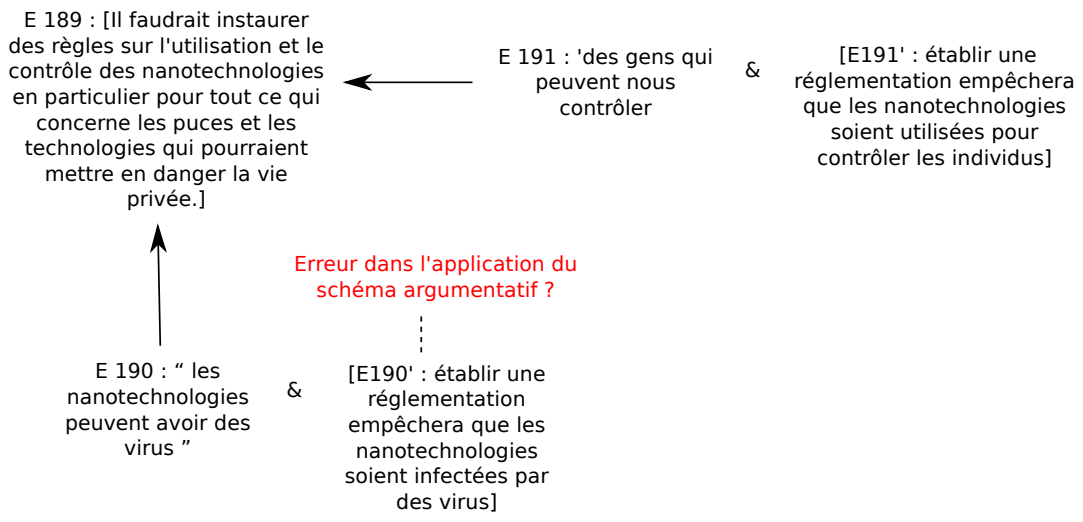


FIGURE 18.7 – Argumentation de l'élève-actrice représentant la CNIL dans les tours de parole 190 à 201

Ces problèmes d'attaque virales n'avaient pas été relevés dans les tableaux de préparation du jeu de rôle. Ainsi à propos de sécurité des données, dans la case "Arguments pour étayer ses positions", les élèves ont notamment écrit :

> *"tracabilité : les nanotechnologies sont disséminées de partout et peuvent être contrôlées à distance ce qui peut entrener une augmentation des collectes de données personnelles. perte de maîtrise : le developpement des nanotechnologies peut prendre de l'empleur et ne peut plus être controlé (problèmes de sécurité)."*

Les élèves du groupe ont donc répertorié des problèmes de sécurité mais ils ne mentionnent pas le problème particulier des attaques virales.

Néanmoins questions de protection des nano-objets contre les attaques virales sont explicitement évoquées dans le cahier d'acteur de la CNIL où l'on peut lire :

> *En outre, "l'intelligence" des nano-objets, c'est-à-dire techniquement leur logique programmée, les expose à un risque de détournement par l'altération de leur fonctionnement et donc de leur finalité. À l'instar des ordinateurs traditionnels, les nanomachines seront vraisemblablement victimes de virus et autres logiciels malveillants." (CNIL)*

Par ailleurs, si l'on reconstitue le schéma argumentatif des propos de cette élève-actrice (voir figure 18.7), on voit que, si l'on adopte une stratégie d'analyse "maximalement argumentative", l'explicitation de la prémisse implicite allant de pair avec la prémisse "les nanotechnologies peuvent avoir des virus" donne une proposition dont la validité est douteuse. Le schéma argumentatif causal suivant lequel établir une réglementation empêchera que les nanotechnologies d'être infecté par les virus nous semble ainsi incorrect. En ce sens, ces propos enfreignent la règle de la discussion critique selon laquelle : "Une partie ne doit pas considérer qu'un point de vue a té défendu de façon concluante si cette défense n'a pas été menée selon un schéma adéquat et correctement appliqué".

Voyant que l'élève représentant la CNIL semble quelque peu en difficultés, la gestionnaire de débat passe alors la parole à la l'élève représentant l'Académie de Médecine.

201	Béné - Gestionnaire du débat	Si vous ne voyez pas trop, on peut... votre voisine a demandé la parole
202	Lucie - Académie Nationale de Médecine	Donc nous, l'académie nationale de médecine, on garantit que les informations ne seront jamais diffusées pour préserver justement les...
203	Béné - Gestionnaire du débat	Alors pourquoi, quel type d'information ?
204	Lucie - Académie Nationale de Médecine	Bah par exemple des définitions biologiques des individus et tout ce qui concerne leur traitement médical et ...

L'élève-actrice représentant l'Académie de Médecine commence affirmer que cette société savante "garantit que les informations ne seront jamais diffusées".

Concernant les problèmes de divulgation des données, on peut lire dans le cahier proposé par cette organisation :

> *"Deux problèmes nouveaux doivent être soulignés :*
> *Le premier est lié à la définition biologique de chaque individu qui permettra de le soigner au mieux. Mais il serait inadmissible que ces informations personnelles de nature privée risquent d'être communiquées, tant aux autorités de l'Etat qu'à l'ensemble des membres de la société. C'est pourquoi, l'efficacité des procédures qui assurent la protection de ces éléments doit être régulièrement vérifiée, et c'est justement parce qu'elle l'est aujourd'hui, que ces risques de dérive sont en pratique bien maîtrisés." (Académie Nationale de Médecine)*

Les questions de divulgation des informations personnelles sur les individus dont l'élève traite ici, sont bien abordées dans le cahier de l'Académie Nationale de Médecine. En revanche, il n'est pas écrit que l'Académie Nationale de Médecine se porte garante de la non-diffusion de ces informations qu'elles concernent la définition biologique des individus ou d'autres données personnelles. L'élève attribue donc ici à la société savante qu'elle représente un rôle qu'elle ne revendique pas dans son cahier d'acteur.

Cette façon d'exposer ces questionnements en présentant l'académie nationale de médecine comme garante de la protection des informations personnelles et médicales ne figuraient cependant pas dans les fiches de préparation des élèves.

Dans un des tableaux de préparation du jeu de rôle, à la case "Quelles positions l'acteur défend-il ?", les élèves ont écrit :

> *"Les nanosciences et les nanotechnologies posent un problème d'éthique."*

Et à la case "Arguments pour étayer ses positions", ils ont notamment inscrit :

> *"- diffusion potentielle des informations personnelles*
> *- est-il dangereux que chacun soit informé de ses propres caractéristiques biologiques ?"*

Ainsi l'expression de "caractéristiques biologiques" apparaît dans les fiches remplies par les élèves. Elle n'est par contre pas employée de la façon dont l'utilise l'élève : il n'est pas écrit que l'ANM garantirait l'absence de diffusion des informations sur la définition biologique des individus.

Suite à cette prise de parole de l'élève-actrice représentant l'Académie de Médecine, la gestionnaire de débat l'incite à expliciter le raisonnement qui l'a conduite à se préoccuper de la protection des données personnelles des patients dans le cadre des nanotechnologies.

205	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord. Parce que les nanotechnologies permettent d'avoir plus d'information ?
206	Lucie - Académie Nationale de Médecine	Bah oui.
207	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord, donc du coup vous dites que il faut mettre en place des dispositifs de... de prévention ?
208	Lucie - Académie Nationale de Médecine	Bah si ça permet de soigner les gens, si ça permet de, de mieux les diagnostiquer, et de pouvoir mieux les détecter, bien sûr, c'est...
209	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord, mais il faut, mais donc vous vous disiez, il y a un risque éventuellement de
210	Lucie - Académie Nationale de Médecine	Il y a un risque mais il est mineur puisque chaque étude qui est faite... euh, il y a des principes de précaution qui sont respectés et comme c'est une activité qui se développe que sur les 20 dernières années, c'est, les risques sont mineurs parce que les, les, même la toxicité des matériaux qui sont utilisés en faible concentration.

Au travers de cet échange, alors que la gestionnaire de débat essaie de faire expliciter à l'élève-actrice ce qui l'amène à considérer que les nanotechnologies pourraient poser de nouveaux problèmes relatifs à la divulgation de données personnelles, l'élève comprend le terme de "risque" dans le sens restrictif de risques sanitaires. Il est effectivement question de ce type de risque dans le cahier d'acteur de l'Académie de Médecine où l'on peut lire :

> *"Les risques éventuels des Nano-Technologies pour la santé de l'homme*
> *Comme toute invention humaine, les nanotechnologies présentent un revers : celui de leurs risques potentiels, qui impliquent beaucoup de vigilance." (Académie Nationale de Médecine)*

Dans la réplique 210, l'élève-actrice qualifie alors ces risques de mineurs. Ce qualificatif de mineur n'apparaît pas dans les fiches de préparation des élèves ni dans le cahier de l'Académie Nationale de Médecine.

Par ailleurs, l'élève emploie l'expression "principe de précaution" qui figure dans le cahier de l'Académie Nationale de Médecine dans le paragraphe suivant :

> *"Néanmoins devront être évitées les erreurs suivantes :*
> *> Vouloir traiter toutes les nanoparticules (même celles déjà présentes naturellement dans l'environnement, ou résultant de l'activité humaine) ;*
> *> Être dans une logique binaire (interdiction ou absence totale de précaution) ;*
> *> Mettre en place systématiquement un moratoire.*
> *C'est là où l'application du principe de précaution, inscrit dans la Constitution, doit tenir compte de toutes ses particularités."*

L'élève fait donc référence au principe de précaution qui est mentionné par l'Académie de Médecine. Elle parle cependant de ce principe au pluriel. De plus, alors que l'Académie de Médecine souligne certains écueils à éviter lors de l'application de ce principe, l'élève-actrice,

dans la réplique 210 présente les choses comme si les questionnements soulevés par les nanotechnologies étaient déjà en partie réglés grâce au respect de "ces" principes de précaution.

Cette allusion à "principes de précaution qui sont respectés" est peut-être aussi à mettre en lien avec ce que l'Académie Nationale de Médecine écrit à un autre endroit de son cahier. Elle parle alors des précautions prises par la "nanoindustrie" :

> *"Cependant, si les recherches dans le domaine des nanosciences sont mondiales et intenses, les études sur les risques éventuels de ces nouvelles technologies et de leurs conséquences font partie de la plupart des programmes scientifiques en cours, justement en raison des expériences passées et de l'obligation de précaution.*
>
> *Il est remarquable que le développement des nanotechnologies, pendant ces vingt dernières années, se soit fait progressivement et sans accident majeur. Comme c'est le cas pour toutes les substances, la toxicité des nanomatériaux dépend en grande partie de leurs concentrations. C'est pourquoi, à l'heure actuelle, les effets délétères de la nanoindustrie, qui déjà prend les plus grandes précautions, apparaissent moins probables que ceux des nano particules issues de la pollution environnementale," (Académie Nationale de Médecine)*

D'ailleurs dans les fiches remplies par les élèves, la seule occurrence du mot "précaution" n'intervient pas dans l'expression "principe de précaution" mais lorsqu'ils parlent de "mise en place de précautions".

Ce terme apparaît en effet à réponse des élèves la question "quels aspects du développement des NNS et des NNT sont importants pour cet acteur ?" où ils ont noté :

> *"- qualité du diagnostic*
> *- qualité des traitements*
> *→ amélioration de la médecine*
> *- risques : - liés à la santé de l'homme*
> *- environnementaux*
> *- mise en place de précautions*
> *- la place de la société (problème moral ?)"*

Enfin l'élève-actrice représentant l'Académie de Médecine explique que

> *"les risques sont mineurs parce que les, les, même la toxicité des matériaux qui sont utilisés en faible concentration".*

Il semble que la référence aux "matériaux utilisés en faible concentration" provient du cahier d'acteur de l'Académie Nationale de Médecine où l'on peut lire :

> *"Comme c'est le cas pour toutes les substances, la toxicité des nanomatériaux dépend en grande partie de leurs concentrations. C'est pourquoi, à l'heure actuelle, les effets délétères de la nanoindustrie, qui déjà prend les plus grandes précautions, apparaissent moins probables que ceux des nano particules issues de la pollution environnementale, et ceci pour plusieurs raisons :*
>
> *1/ On en prévient aujourd'hui les risques les plus vraisemblables, en raison justement de l'expérience acquise, d'une part en matière de pollution atmosphérique, et d'autre part à propos de l'amiante. Cette expérience est largement mise à profit dans la fabrication des nanomatériaux, notamment des tubes de carbone, bien qu'il n'existe encore pour la nano-industrie aucune réglementation particulière.*
>
> *2/ De plus, la fabrication de ces nanomatériaux implique, en elle-même, afin d'éviter toute nano-souillure, l'emploi presque généralisé de salles blanches.*
>
> *3/ C'est pourquoi la manipulation des nanomatériaux par leurs constructeurs et leurs utilisateurs expose normalement ceux-ci à des doses particulièrement faibles."*

La mention des salles blanches et des doses “particulièrement faibles” auxquelles les individus sont exposés est peut-être ce sur quoi s’appuie l’élève lorsqu’elle prend la parole ici et affirme que “les matériaux sont utilisés en faible concentration.

Enfin, voyant que l’élève a immédiatement enchaîné sur la question des risques sanitaires, la gestionnaire de débat tente de recentrer le débat sur les interrogations soulevées plus spécifiquement par les utilisations en médecine des nanotechnologies.

211	Béné - Gestionnaire du débat	D’accord. Mais vous vous étiez avant plus sur les problèmes de divulgation d’information. Donc là, quels sont là, vos, les problèmes sur la divulgation des informations ? Je n’ai pas très bien compris en fait, est-ce que vous pouvez nous répéter ce que vous avez dit sur les problèmes d’inf..., de divulgation des informations sur les caractéristiques des individus
212	Lucie - Académie Nationale de Médecine	Bah, la question se pose de savoir si c’est bon ou mauvais de... de faire part à la société des informations biologiques de chacun mais normalement, elles seront garanties.

Sur ces questions, comme nous l’avons déjà partiellement relevé, il est écrit dans le cahier d’acteur de l’Académie Nationale de Médecine :

> *“Deux problèmes nouveaux doivent être soulignés :*
> *Le premier est lié à la définition biologique de chaque individu qui permettra de le soigner au mieux. Mais il serait inadmissible que ces informations personnelles de nature privée risquent d’être communiquées, tant aux autorités de l’Etat qu’à l’ensemble des membres de la société. C’est pourquoi, l’efficacité des procédures qui assurent la protection de ces éléments doit être régulièrement vérifiée, et c’est justement parce qu’elle l’est aujourd’hui, que ces risques de dérive sont en pratique bien maîtrisés.*
>
> *Par ailleurs est-il bon ou dangereux pour la santé d’un individu qu’il soit informé de ses propres caractéristiques biologiques ? Cette question va vite se poser. Car ces informations permettent de prévoir l’avenir et celui de notre descendance. Certes, c’est avec une probabilité qui est mal connue ; mais surtout, cette probabilité est difficilement appréciable sans une solide culture biologique.” (Académie Nationale de Médecine)*

Dans son intervention, l’élève ne reprend que le premier de ces “problèmes éthiques nouveaux” mentionnés par l’Académie de Médecine.

L’examen des fiches remplies par les élèves avant le jeu de rôle, montre qu’ils avaient toutefois relevés ces deux éléments. Ainsi, dans l’un des tableaux qu’ils ont rempli, ils ont écrit en réponse à la question :“Quelles positions l’acteur défend-il ?” :

> *“Les nanosciences et les nanotechnologies posent un problème d’éthique”*

De plus, dans la case “Arguments pour étayer ses positions”, ils ont notamment inscrit :

> *“- diffusion potentielle des informations personnelles*
> *- est-il dangereux que chacun soit informé de ses propres caractéristiques biologiques ?”*

Les élèves avaient donc noté en préparation les deux problèmes éthiques que distinguait aussi l’Académie de Médecine. Enfin, lorsque l’élève ré-affirme que “ces informations seront garanties”, elle propose comme nous l’avons déjà signalé un point de vue mentionné ni dans le cahier d’acteur de l’Académie de Médecine, ni dans les fiches remplies par les élèves.

Comme le débat vient d'aborder les questions d'encadrement et également les utilisations des nanotechnologies en médecine, la gestionnaire de débat donne la parole l'élève représentant le CENG.

Suite à la sollicitation de la gestionnaire du débat, la discussion revient sur le cas particulier de Clinatec.

215	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord. Sur le cas de Clinatec vous avez quelque chose à dire là dessus ?
216	Cécilia - CENG	Bah par exemple, sur le cas de Clinatec, il y a eu très peu d'information au public.
217	Béné - Gestionnaire du débat	Donc juste, vous pouvez juste peut-être nous rappeler ce que c'est que Clinatec euh
218	Cécilia - CENG	Bah Clinatec c'est donc une clinique qui est financée surtout par *(inaudible - bruit parasite)* et qui en fait utilise les nanotechnologies notamment pour les maladies dégénératrices en neurologie. Donc par exemple elle a été construite, donc bah il y a eu des succès comme les opérations dont je vous ai parlé, mais le public n'a pas été informé. Le public n'a pas reçu d'informations ni sur sa construction, ni sur *(mot inaudible - bruit parasite)* des opérations. Le public ne sait pas.
219	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord, ça c'est un point de vue, mais d'un point de vue réglementation, est-ce que vous avez quelque chose à, à dire sur cet encadrement... Là, madame *(désignant Lucie - Académie Médecine)* parlait de problèmes de données sur les gens. Est-ce que c'est encadré ici ?
220	Cécilia - CENG	Vous voulez dire, est-ce que les gens sont informés des risques ?
221	Béné - Gestionnaire du débat	Alors des risques ou madame parlait plus de questions de caractéristiques biologiques. C'est ça que vous avez utilisé comme expression ? Nan, vous n'avez pas grand chose à rajouter là dessus ?
222	Cécilia - CENG	Non.

De nouveau, lorsque l'élève-actrice présente Clinatec, elle rapporte que des "opérations à succès" ont eu lieu dans cette clinique et mentionne de nouveau que le public n'a pas été informé.

La gestionnaire de débat lui propose alors d'intervenir sur les questions de réglementation, mais l'élève affirme n'avoir rien à ajouter à ce sujet.

Toutefois, en amont du jeu de rôle, elle et les deux autres élèves qui analysaient le cahier d'acteur du CENG ont noté dans l'un des tableaux qu'elles ont remplis :

> *" - ce marché n'est pas soumis au code de marché publics*
> *- l'opacité et sans contrôle public.*
> *- Il n'y a pas de document de recensement émanant des services de l'etat. Pour les salariés ce sont les médecins du travail qui tiennent les documents "*

Ainsi, s'il n'est pas exactement question de réglementation dans ces bribes de phrases, les élèves avaient tout de même relevé des éléments ayant traits à l'encadrement (ou à l'absence d'encadrement) du projet Clinatec. Ces phrases reprenaient par ailleurs exactement certains passages du cahier d'acteur du CENG. Il est ainsi écrit par exemple dans ce document :

> *"Les réponses de l'Etat concernant la prévention et le contrôle en matière de nanobiotechnologies révèlent des carences graves, significatives d'une démission de ses compétences en cette matière, l'Etat renvoyant les responsabilités sur d'autres :*
>
> *> Recensement par les services de l'Etat des personnels soumis aux nanotechnologies : " Il n'y a pas de document de recensement émanant des services de l'Etat. Pour les salariés ce sont les médecins du travail qui tiennent les documents. »*
>
> *> Intervention des services de l'Etat sur les mesures de l'ambiance des locaux et suivi médical. : " Il n'y a pas d'organisme agréé pour procéder au mesurage de la présence de nanoparticules dans l'air. Le mesurage est d'ailleurs, problématique, c'est pourquoi il est préconisé d'éviter l'exposition des travailleurs, par principe de précaution. "*
>
> *> Analyse des risques : " Ce n'est pas aux services de l'Etat d'analyser les risques. L'évaluation des risques est à la charge de l'entreprise dans un document qui n'est pas systématiquement détenu par la DDTEFP. "*
>
> *> Protection particulière des personnes enceintes : " Cela fait partie de la mission des médecins du travail. L'inspection médicale du travail est bien informée du risque potentiel en liaison avec les médecins du travail. Il n'y a pas de document spécifique en possession de la DDTEFP. »*
>
> *En conséquence, il apparaît que l'opération CLINATEC, comme de nombreuses recherches, productions, applications et commercialisation de nanobiotechnologies, se développent dans l'opacité et sans contrôle public." (CENG)*

Finalement, au travers de cette série d'interventions portant sur l'intérêt de mettre en place un dispositif réglementaire et sur les questions de protection des données médicales sur les individus, l'élève représentant la CFE-CGC s'intéresse d'abord aux problèmes d'encadrement législatif.

Il déclare qu'il faudrait mettre en place une réglementation pour l'instant absente pour contraindre les entreprises à prendre des mesures de sécurité. Ici, il radicalise ce que dit le syndicat qu'il représente dans son cahier d'acteur. L'élève indique en effet qu'il n'existe pas de réglementation sur les nanotechnologies quand la CFE-CGC parle seulement de la nécessité de renforcer le dispositif législatif et mettre en place des normes.

Suite à cette intervention, l'élève représentant la CNIL intervient et affirme à nouveau l'importance d'instaurer une réglementation sur les utilisations des puces et des technologies pouvant menacer la vie privée. La gestionnaire de débat lui demande alors de préciser ce qui l'amène à s'exprimer ainsi. L'élève-actrice représentant la CNIL justifie donc sa demande en expliquant que les nanotechnologies peuvent subir des attaques virales. Elle mobilise ici des éléments du cahier d'acteur, mais l'analyse de son argumentation montre que son raisonnement repose sur une prémisse implicite non valide.

Ensuite l'élève représentant l'Académie de Médecine demande la parole. Rebondissant sur les questions de vie privée, elle explique que la société savante qu'elle représente garantit que les informations personnelles concernant la définition biologique des individus ou leur traitement médical ne seront pas diffusées. En utilisant l'expression de "définition biologique des individus" et de données sur les patients, elle s'inspire d'éléments présents dans le cahier d'acteur de l'Académie de Médecine, mais attribue à cette société savante un rôle qu'elle revendique pas. La gestionnaire de débat s'efforce alors de faire préciser l'élève et emploie alors le terme de risque. L'élève représentant l'Académie de Médecine, fait alors une digression sur la question des risques sanitaires. Là, aussi bien dans son discours sur les risques que sur

les questions de protections des données sur les individus, l'élève représentant l'Académie de Médecine a tendance à présenter les problèmes mentionnés dans le cahier d'acteur qu'elle a étudié comme étant déjà pris au moins partiellement pris en charge alors que l'Académie de Médecine n'en dit rien. Enfin, dans ses interventions, l'élève ne reprend pas l'un des problèmes "éthiques nouveaux" qu'elle et son groupe avaient pourtant relevé en préparation :

> *"est-il bon ou dangereux pour la santé d'un individu qu'il soit informé de ses propres caractéristiques biologiques ?"*

Enfin, comme la discussion touche à la fois aux questions de réglementation et de médecine, la gestionnaire de la discussion interroge l'élève-actrice représentant le CENG sur le cas particulier de Clinatec. Celle-ci déclare n'avoir rien à ajouter sur les questions de réglementation.

À ce stade du débat, l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste lève de nouveau la main. La gestionnaire des échanges lui donne la parole et la discussion s'oriente sur les perspectives ouvertes par les développements des nanotechnologies en matière d'environnement.

18.3.11 Développement des recherches en particulier sur les questions environnementales

L'élève représentant l'Association Française Transhumaniste revient ainsi dans cette intervention sur les projets de dépollution des hydrocarbures.

223	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord. Est-ce que... *(Aurélie - Transhumanistes a levé la main)* Oui ?
224	Aurélie - Transhumanistes	Je voulais juste revenir sur l'environnement et au niveau écologique, par rapport aux nanotechnologies. Euh, il faut savoir que nous quand on passe l'information au public, on précise qu'on a pareil, un problème de recul au niveau que ce soit sur la santé ou sur l'écologie et on a deux cas de figure, puisqu'on est euh, je pense qu'on est plus avancé, au niveau de la science humaine que sur l'écologie. Par exemple, on aimerait bien grâce aux nanotechnologies sur au niveau écologique de, d'un projet de dépollution des hydro, des hydrocarbures, mais comme on n'a pas encore assez de recul, on peut avoir aussi comme dans les films un peu de science fiction euh, des espèces de matière grise qui se multiplie
225	Béné - Gestionnaire du débat	Oui et ?
226	Aurélie - Transhumanistes	et donc je pense qu'il faudrait avoir plus de laboratoire de recherche euh, au niveau de l'écologie, parce que je trouve qu'on avance beaucoup sur la santé de la population, mais il y a un réel problème, je pense même au niveau du pétrôle, on en *(fin de phrase inaudible)*
227	Béné - Gestionnaire du débat	et donc vous vous voulez développer l'effort de recherche
228	Aurélie - Transhumanistes	Je pense que il faudrait le développer encore plus

L'élève représentant l'Association Française Transhumaniste traite ici d'écologie et de développements des nanotechnologies pour l'environnement. Dans le cahier d'acteur de cette organisation, le terme d'environnement n'apparaît qu'une fois dans le paragraphe suivant :

> *" Les débats en cours tentent de trouver un équilibre entre les possibilités portées par ces technologies et les exigences de contrôle et de précaution que nécessite l'arrivée de produits totalement nouveaux, dont on ne sait encore presque rien en terme de nocivité pour l'homme et son environnement. " (AFT)*

Il semble donc que l'élève répercute une affirmation présente dans le cahier d'acteur lorsqu'elle déclare *"qu'on a pareil, un problème de recul au niveau que ce soit sur la santé ou sur l'écologie"*.

Au début de la réplique 224, l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste explique aussi que les membres de ce mouvement soulignent cette absence de recul "lorsqu'ils passent l'information". À ce propos, l'Association Française Transhumaniste exprime l'idée de diffusion d'informations dans son cahier d'acteur à un seul endroit : lorsqu'elle se présente. Elle écrit alors :

> *"Cette association s'est donnée pour objet de : " diffuser les thématiques et les questionnements relatifs aux technologies susceptibles d'améliorer et de prolonger la vie des individus et de l'espèce humaine. L'association se propose de promouvoir ces technologies, liées notamment au fonctionnement corporel et aux conditions de vie, aussi bien dans les domaines scientifiques, philosophiques, artistiques, etc. "(extrait des statuts de l'association)" (AFT)*

Les détails sur la manière dont l'Association Française Transhumaniste communiquerait en précisant l'existence de problèmes de recul, sont donc des éléments apportés par l'élève-actrice.

Celle-ci estime ensuite :

> *"je pense qu'on est plus avancé, au niveau de la science humaine que sur l'écologie."*

Ici nous n'avons pas trouvé d'éléments faisant écho à ces propos dans le cahier d'acteur. Néanmoins l'AFT parle effectivement de Nature dans ce document et plus exactement de transformation de la Nature :

> *" Que les nanotechnologies tendent à modifier au fond la Nature, l'Humain et l'Humanité nous est montré par de multiples exemples. Pour ce qui est de la Nature, c'est la définition même des Nanotechnologies qui le précise, puisqu'il est question de techniques (transformation de la nature par la main de l'homme) intervenant à l'échelle moléculaire ou aThibaultique. Les matériaux nouvellement créés n'existent pas à l'état naturel. Ils possèdent des propriétés inouïes. Mais ce qui renforce leur aspect révolutionnaire, ce peut être, selon les matériaux ou les techniques, leur capacité à modifier le "naturel" qui les environne par leur propre fait. Dans le cas des matériaux, nous pourrions citer - côté optimiste, les projets de dépollution des hydrocarbures, ou - côté catastrophiste, le scénario de science-fiction de la "gelée grise"auto-répliquante à l'infini et susceptible de tout envahir. " (AFT)*

Ces deux exemples du scénario de la gelée grise que l'AFT qualifie de science-fiction et celui des projets de dépollution des hydrocarbures sont par ailleurs repris par l'élève-actrice. Elle dit en effet :

"Par exemple, on aimerait bien grâce aux nanotechnologies sur au niveau écologique de, d'un projet de dépollution des hydro, des hydrocarbures, mais comme on n'a pas encore assez de recul, on peut avoir aussi comme dans les films un peu de science fiction euh, des espèces de matière grise qui se multiplie"

L'élève utilise donc des exemples proposés par l'Association Française Transhumaniste mais elle les met en lien d'une manière différente de ce qu'on peut lire dans le cahier d'acteur de cette association. Ainsi, cette organisation ne cite pas l'exemple de la gelée grise auto-répliquante pour illustrer les problèmes liés à l'absence de recul en matière d'effets sur l'environnement des nanotechnologies.

Dans son intervention, l'élève-actrice établit donc un lien entre deux éléments du cahier d'acteur (le manque de recul et le scénario de la gelée grise) déconnectés dans ce document.

L'élève-actrice représentant l'Association Française Transhumaniste demande aussi d'augmenter le nombre de laboratoires travaillant *"au niveau de l'écologie"*. En matière de requête relative aux orientations des recherches, on peut lire dans la synthèse qui conclut le cahier d'acteur de l'Association Française Transhumaniste :

"> Oui aux nanotechnologies dans tous les domaines, sans aucun tabou.

> Oui aux contrôles nécessaires lors des recherches, et dans tout processus en amont de la dissémination.

> Oui à la recherche systématique du recyclage en aval.

Dans tous les cas, cela signifie bien davantage de moyens pour la recherche." (AFT)

L'Association Française Transhumaniste ne fournit pas de précisions sur le cas spécifique de l'écologie. Ainsi, quand l'élève suggère :

"je pense qu'il faudrait avoir plus de laboratoire de recherche euh, au niveau de l'écologie, parce que je trouve qu'on avance beaucoup sur la santé de la population, mais il y a un réel problème, je pense même au niveau du pétrôle"

elle brode sur les recommandations de l'Association Française Transhumaniste et apporte des précisions sur les priorités de recherches que cette association n'avance pas dans le document fourni à la CNDP.

Ainsi, dans cet extrait du jeu de rôle, l'élève-actrice met un accent prononcé sur "l'écologie" sans que cela ne se retrouve de manière marquée dans le cahier d'acteur de l'AFT. Cet insistance sur l'écologie peut être mise en regard avec le contenu des fiches remplies par les élèves en préparation du jeu de rôle.

Ils ont en effet classé en première position

sur la fiche où il leur était demandé de hiérarchiser les thèmes abordés dans le cahier d'acteur en fonction de leur importance dans ce document :

"develloper les nanotechnologies au niveau de la nature
$\hookrightarrow$ améliore globale inouie au niveau écologique"

et en deuxième position

"develloper les nanotechnologies au niveau de la médecine
$\hookrightarrow$ amélioration de a santé globale de l'humanité".

Ils justifient cet ordre qui place au premier rang "l'écologie" en écrivant :

"car l'homme $\in$ Nature, si la Nature va bien, l'Homme ne peut aller que mieu.
$\rightarrow$ Nature englobe + de chose que l'Homme."

Ainsi, il est possible que l'élève-actrice fasse écho, au travers du tour de parole 224, à ce qu'elle et son groupe ont noté en préparation du jeu de rôle.

Ces interventions au travers desquelles l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste demande que les recherches menées dans le domaine de l'écologie soient amplifiées, provoquent une réaction de l'élève-actrice représentant le CNRS et le CEA.

229	Béné - Gestionnaire du débat	Alors il y a encore deux interventions. Oui ?
230	Aude - CNRS/CEA	Oui moi, ça concerne directement, c'est chez nous qu'il faudrait développer les laboratoires. Il y en a quand même déjà beaucoup, c'est juste que ça prend pas mal de temps mais on fait des progrès et on essaye de trouver des solutions qui nous permettraient d'arrêter d'user des batteries ou du pétrôle comme vous avez parlé,
231	Béné - Gestionnaire du débat	Donc pour vous
232	Aude - CNRS/CEA	du stockage de l'hydrogène, tout ça c'est intéressant ça prend peut-être plus de temps que la recherche pour la médecine mais avec plus de subventions et plus de laboratoires... enfin ça se pourrait que ce soit plus rapide.
233	Aurélie - Transhumanistes	Le problème c'est qu'en fait , on ne sait pas où vous en êtes. On aurait besoin de savoir...

L'élève répond ici à l'élève représentant le mouvement Transhumaniste.

Comme noté précédemment, le CNRS et du CEA évoquent leurs travaux dans le domaine de l'énergie. Les exemples du stockage de l'hydrogène et des recherches sur les batteries y apparaissent même explicitement.

> *"Le CEA et le CNRS développent prioritairement leurs activités de recherche en nanosciences et nanotechnologies dans cinq secteurs :*
>
> *> Les énergies à faible impact climatique.*
>
> *Les recherches portent, par exemple, sur l'économie et le remplacement des matériaux rares pour les batteries ou le stockage de l'hydrogène, sur les cellules solaires bas coût, sur les matériaux d'isolation des bâtiments, ou encore sur des technologies propres et économes en ressources assurant la qualité de l'eau et de l'environnement." (CNRS-CEA)*

En revanche, lorsque le CNRS et le CEA énumèrent leurs différents axes de recherches comme dans l'extrait précédent, ils ne disent rien de la référence au temps nécessaire pour mener ces travaux.

L'élève termine ensuite son intervention en suggérant au tour de parole 232 :

> *"mais avec plus de subventions et plus de laboratoires... enfin ça se pourrait que ce soit plus rapide."*

Pour leur part, le CNRS et le CEA ne reviennent sur les questions de financement des recherches dans leur cahiers d'acteur que lorsqu'ils insistent sur le soutien de l'État et des collectivités au développement des nanotechnologies :

> *"Depuis dix ans, l'Etat développe son soutien aux recherches en nanosciences et nanotechnologies. Il affiche une politique volontariste avec un effort financier croissant, soutenu par celui des régions et des collectivités locales." (CNRS-CEA)*

Le CNRS et le CEA n'indiquent donc pas (au moins explicitement) dans leur cahier d'acteur, que l'ouverture de nouveaux laboratoires et l'octroi de davantage de moyens permettrait d'accélérer les recherches sur les énergies.

Au cours de ces deux interventions, l'élève-actrice représentant l'Association Française Transhumaniste commence par affirmer que, lorsque l'organisation qu'elle représente "passe l'information", elle souligne le manque actuel de recul sur les effets des nanoparticules pour la santé ou l'environnement. Elle utilise ici un élément du cahier d'acteur où il est écrit que l'on ne sait actuellement pratiquement rien de l'impact des nouveaux nano-produits sur l'homme et l'environnement. Elle le met alors en perspective avec un rôle d'information qu'elle attribue à l'Association Française Transhumaniste comme elle l'avait déjà fait au moment du tour de table introductif.

L'élève-actrice introduit ensuite dans le jeu de rôle deux exemples proposés par l'Association Française Transhumaniste : celui des projets de dépollution des hydrocarbures et celui de la gelée grise autorépliquante. Elle établit alors un lien entre eux qui n'apparaît pas dans le cahier d'acteur, en expliquant que l'Association Française Transhumaniste jugerait utile de développer des travaux sur les hydrocarbures, mais que le manque de recul laisse craindre un scénario catastrophiste type gelée grise.

L'élève représentant l'Association Française Transhumaniste conclut enfin en soulignant l'importance d'accorder une attention particulière à l'écologie. Cet accent marqué sur les préoccupations environnementales se retrouve aussi dans les fiches qu'elle et son groupe ont remplies en amont du jeu de rôle.

S'appuyant sur le contenu de son cahier d'acteur, l'élève représentant le CNRS et le CEA répond alors en citant les efforts de recherches déjà menés au sein de ces organismes de recherches. Puis elle ajoute

> *"mais avec plus de subventions et plus de laboratoires... enfin ça se pourrait que ce soit plus rapide."*

Ces éléments, s'ils ne sont pas incohérents avec le contenu du cahier d'acteur du CNRS et du CEA et qu'ils sont avancés avec prudence (emploi du conditionnel "ça se pourrait"), ne figurent cependant pas dans ce document. Il n'y est en effet question du soutien de l'État aux nanotechnologies que lorsque le CNRS et le CEA rappelle "la politique volontariste" engagée depuis 10 ans.

Le jeu de rôle est ensuite le théâtre de quelques derniers échanges sur l'information des citoyens.

18.3.12 Information des citoyens

L'élève représentant l'INRS donne son avis sur ce thème et estime que, du fait de l'absence de connaissances sur les nanotechnologies, l'information du public est une affaire délicate.

234	Béné - Gestionnaire du débat	Où vous en êtes ? D'accord. Et madame de l'INRS vous vouliez réagir.
235	Maria - INRS	Je voulais juste dire, qu'on a soulevé plusieurs problèmes avec euh... enfin j'veux dire informer le public, ou d'un point de vue biologie (?) mais si...on n'a pas encore les résultats. On ne sait pas encore euh les risques. On n'a pas encore calculé les risques comme l'a dit monsieur... Comment on peut informer le public si on n'a pas encore, si nous même, je veux dire les scientifiques, on n'a pas nous-même calculé encore les risques qui sont présents ; On peut pas... On peut pas, enfin le dire au public, si nous même on ne sait pas.

Nous avons déjà souligné que, dans le cahier d'acteur de l'INRS, on pouvait lire que la toxicité des nanoparticules était encore mal connue.

> *"Les connaissances sur la toxicité des nanoparticules manufacturées sont encore limitées. Elles sont le fruit exclusif d'études animales et de tests in vitro sur des modèles cellulaires dont les résultats sont difficilement extrapolables à l'homme." (INRS)*

Toutefois, l'INRS ne tire pas de conclusion de cette absence recul sur l'information du public en général. Cet institut dit bien quelques mots sur l'information des salariés, recommandant de

> *"former et informer les salariés exposés,"*

mais la question de l'information du public en général est absente du cahier d'acteur de l'INRS.

L'élève mobilise donc ce que l'INRS dit de l'incertitude entourant la toxicité des nanoparticules manufacturées, en utilisant cet argument pour étayer une prise de position que l'INRS n'explicite pas dans son cahier d'acteur.

Par ailleurs, ce point de vue selon lequel en substance *"puisque les scientifiques ne sont pas en mesure de fournir une estimation des risques, alors il est impossible de ne rien dire au public"* fait écho aux positionnements qu'ont exprimés et l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes, et l'élève représentant la FEBEA.

Deux élèves-actrices prennent alors la parole.

236	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord
237	Aude - CNRS/CEA	Ça pose plus la question où on en est...
238	Aurélie - Transhumanistes	*(opine)* Où on en est...
239	Aude - CNRS/CEA	On en est encore aux recherches, c'est pour ça qu'on ne peut pas informer tout le monde ; on n'a pas encore posé toutes les *(inaudible)*

S'adossant aux propos de l'élève représentant l'INRS, l'élève-actrice représentant le CNRS et le CEA utilise le fait que les recherches sont en cours pour rendre compte de l'incapacité à informer tout le monde.

À propos des initiatives du CNRS et du CEA pour contribuer aux recherches sur les répercussions du développements des nanotechnologies et à l'information du public, on peut lire dans leur cahier d'acteur :

> *"Plusieurs chantiers de réflexion sont en cours : élaboration et utilisation des produits " nanos " ; principe de précaution ; aspects juridiques. L'organisme a créé son propre comité d'éthique (le Comets). Dans les centres C'nano sont également mises en place des réflexions sur les aspects sociétaux. L'Institut écologie et environnement (Inée) a été créé en 2006 pour organiser la recherche sur l'environnement et le développement durable. Enfin, des analyses et des recherches portent sur les dangers pour la santé humaine et l'environnement : toxicologie et écotoxicologie, instrumentation analytique, prévention des risques, participation à la normalisation, soutien à la réglementation, etc. Ces actions du CNRS sont présentées et valorisées auprès du public. Le DVD " Nanosciences, nanotechnologies "est sorti à l'auThibaultne 2008, ainsi que le dossier pédagogique en ligne " Nanotechnologies et santé ».*" *(CNRS-CEA)*

Dans cet extrait, le CNRS et le CEA indiquent donc que les efforts sur ces différents “chantiers en cours” sont “présentés et valorisés”. Même si les notions de présentation ou valorisation ne sont pas des notions tout à fait identiques à celle d’ “information”, il nous semble néanmoins que l’élève-actrice défend ici une position différente de celle du CNRS et du CEA.

Finalement, dans ces dernières interventions sur l’information du public, l’élève représentant l’INRS fait écho à ce que cet institut exprime sur l’incertitude entourant les questions de toxicité pour étayer un point de vue que l’INRS n’explicite pas dans son cahier d’acteur. Elle soutient ainsi que puisque les scientifiques n’ont pas eux “calculé les risques”, il n’est pas possible “de le dire au public”. L’élève représentant le CNRS et le CEA intervient alors à son tour. Filant ce thème du manque de recul, elle met en avant le fait que les recherches sont encore en cours pour justifier l’incapacité à “informer tout le monde”. Dans leur cahier d’acteur, le CNRS et le CEA eux, parlent aussi de certains “chantiers en cours”. En revanche, ils n’en tirent pas de conséquence sur l’impossibilité d’informer tout le monde.

Le jeu de rôle touche alors à sa fin et la gestionnaire de débat propose aux élèves-acteurs d’achever cette discussion en prononçant chacun leur tour quelques mots de conclusion.

18.3.13 Tour de table de conclusion

Au travers de leurs ultimes prises de parole dans le jeu de rôle, la plupart des élèves-acteurs reprennent les points saillants des propos qu’ils ont tenus au cours de la discussion. Nous allons examiner chacune de leurs interventions en regroupant les prises de positions présentant certaines similitudes.

18.3.13.1 Moratoire sur la recherche et la commercialisation

L’élève-acteur représentant les Amis de la Terre reprend textuellement le contenu du cahier d’acteur des Amis de la Terre dans le tour de table final. Il demande ainsi un moratoire sur la recherche et la commercialisation des nanotechnologies.

248	Béné - Gestionnaire du débat	Donc un problème d’information du public. Ok. Monsieur, des Amis de la Terre ?
249	Corentin - Amis de la Terre	Je pense qu’un moratoire sur la recherche et la commercialisation des nanotechnologies est la seule attitude raisonnable.

En s’exprimant de la sorte au cours du tour de table de conclusion, l’élève-acteur met en exergue une recommandation que les Amis de la Terre mettent eux aussi bien en évidence dans leur cahier d’acteur puisque ce document est intitulé :

> *“Un moratoire sur les nanotechnologies est aujourd’hui la seule solution raisonnable” (les Amis de la Terre)*

et que dans la synthèse qui conclut ce document, on peut aussi lire :

> *“Avant de débattre du développement des produits contenant des nanoparticules, il est indispensable que tous les problèmes - sanitaires, environnementaux, sociaux, économiques, éthiques - que posent ces produits soient traités en amont et qu’une réponse y soit apportée dans le respect du principe de précaution. Il ne saurait être question, à défaut de réglementation, de se contenter de " règles de bonne conduite ».**Pour les Amis de la Terre, un moratoire sur la recherche et la commercialisation des nanotechnologies est la seule attitude raisonnable.”** (les Amis de la Terre)*

Cette prise de position des Amis de la Terre en faveur de l'imposition d'un moratoire avait été relevée par les élèves en préparation du jeu de rôle. Ils avaient ainsi noté sur l'une de leur fiche :

> *"Avant de continuer le développement des nanoparticules, il est indispensable que tous les problèmes (sanitaires, environnementaux, sociaux, économiques) soient resolus et que des solutions soient apportées afin de respecter les principes de précaution. Pour les Amis de la Terre, un moratoire sur la recherche et la commercialisation des nanotechnologies est la seule attitude raisonnable."*

L'élève représentant les Amis de la Terre ne fait ainsi écho à l'oral qu'à la dernière partie de ce petit paragraphe.

18.3.13.2 Garantir la confidentialité des informations

L'élève-actrice représentant la CNIL estime dans sa dernière prise de parole que les nanotechnologies vont se multiplier et qu'il faut que la confidentialité des informations soit garantie.

268	Diana - CNIL	Moi je pense que les nanotechn, les nanotechnologies vont être de plus en plus nombreuses, et elles doivent garantir la confiden, la confidentialité des informations.
269	Béné - Gestionnaire du débat	Donc les nanotech... c'est il faut garantir la confidentialité des informations
270	Diana - CNIL	Des informations qu'elles contiennent (*?- très dur à entendre*)
271	Béné - Gestionnaire du débat	Qu'elles contiennent... Qu'elles permettent de diffuser euh ?
272	Diana - CNIL	*Inaudible.*

Les deux éléments que l'élève met en avant, à savoir d'une part que les nanotechnologies vont être de plus en plus nombreuses et d'autre part qu'elles doivent garantir la confidentialité des informations, sont tous deux issus du cahier d'acteur de la CNIL.

En effet on peut lire dans ce document :

> *"l'ubiquité des nanotechnologies, c'est-à-dire leur dissémination massive combinée avec la possibilité d'interagir à distance avec des objets communicants, pourrait étendre considérablement les capacités de collecte de données personnelles." (CNIL)*

mais aussi

> *"> Sécurité : les nanotechnologies doivent garantir la sécurité des données collectées, émises ou stockées, tant du point de vue de leur confidentialité que de leur intégrité. Les objets communicants traitant des données à caractère personnel ne devraient-ils pas intégrer la sécurité dès leur conception ?" (CNIL)*

Lorsqu'elle prend la parole dans cette ultime intervention, l'élève-actrice mobilise donc des certains contenus de son cahier d'acteur.

Elle introduit aussi la notion de confidentialité qui n'avait jusqu'alors pas été explicitement mentionnée.

Par ailleurs, la multiplication des nanotechnologies est un point qui avait été noté sur les fiches remplies par les élèves en préparation. Ainsi à la question "quels aspects du développement des nanosciences et des nanotechnologies sont importants pour cet acteur ?" , les élèves avaient relevé :

"Qu'elles deviennent de + en + petites, voire invisibles et de + en + nombreuses et qu'elles peuvent être utilisées pour contrôler les gens. Ces aspects posent des problèmes pour la maîtrise des informations et de la vie privée. "

Quant à l'importance de garantir la confidentialité, les élèves avaient écrit dans la case recommandation du tableau qu'elles ont rempli :

"L'auteur souhaiterait établir une serie de postulats et de régles permettant de garantir la liberté et la vie privée des personnes. Les nanotechnologies doivent garantir la confidentialité des informations collectées. Qu'elles soient identifiées et non cachées."

Dans sa dernière intervention l'élève-actrice représentant la CNIL utilise donc à la fois ce qu'elle et son groupe ont noté en préparation du jeu de rôle et le contenu de son cahier d'acteur.

18.3.13.3 Développer les nanotechnologies en s'assurant de la protection des invididus

Au cours de ce tour de table, plusieurs élèves-acteurs se déclarent en faveur du développement des nanotechnologies tout en adjoignant à cette prise de position quelques nuances. L'élève représentant l'INRS est la première dans ce tour de table conclusif à estimer que "c'est bien de développer" les nanotechnologies.

244	Béné - Gestionnaire du débat	Donc peu de recul sur les nanotechnologies, il faudrait établir une réglementation dessus. Madame ?
245	Maria - INRS	Moi je suis un peu d'accord. Il faut... c'est bien de développer, mais il faut d'abord s'assurer que tout, tout le monde sera, sera protégé et qu'on n'aura pas de problèmes de santé après ;

Comme nous l'avons mentionné au paragraphe 18.3.4, l'INRS ne se prononce ni pour, ni contre le développement des nanotechnologies, mais s'intéresse simplement aux questions de toxicité allant de pair avec l'utilisation de nanoparticules manufacturées.

"Les besoins de recherche sont immenses et l'INRS, comme de nombreux autres instituts de recherche, se mobilise pour développer les connaissances sur la toxicité des nanoparticules et concevoir des méthodes fiables pour évaluer l'exposition." (INRS)

Ensuite, dans la suite de son intervention, l'élève met l'accent sur la protection des individus pour éviter des problèmes sanitaires ultérieurs.

Cet accent sur le développement *"d'un raisonnement basé sur la précaution"* présent dans le cahier d'acteur, se retrouve par ailleurs dans les fiches remplies par les élèves en préparation du jeu de rôle.

Dans l'une des cases recommandations, les élèves ont écrit :

"→ développer un raisonnement basé sur la précaution.
→ mettre en place des stratégies de prévention adaptées
→ attention aux nanoparticules pour lesquelles il y a peu de données toxicologiques et ceux dont les effets biologiques sont importants"

De son côté, l'INRS parle dans son cahier d'acteur de protection lorsqu'ils s'intéresse à la prévention des risques en milieu professionnel. Cet institut écrit ainsi :

"En l'état actuel, la prévention se réfère à la réglementation concernant le risque chimique (articles R. 4412-1 à R. 4412-58 du Code du travail) ; la démarche de prévention qu'il convient de mettre en œuvre est alors la suivante :

> optimiser le procédé pour limiter l'exposition (confinement et techniques mécanisées),

> utiliser la substance sous une forme moins encline à se disperser dans l'air (pastille plutôt que suspension, plutôt que poudre),

> utiliser des équipements vérifiés pour le captage à la source et la protection collective (intégrant des systèmes de filtration adaptés pour le rejet),

> employer un équipement de protection individuelle adapté,

> collecter et traiter les déchets,

> former et informer les salariés exposés,

> mettre en place un suivi d'exposition des salariés (types de nanoparticules, quantités, opérations et tâches, moyens de prévention, etc.)." (INRS)

ou encore

"Il convient donc, dans tous les environnements professionnels et tout au long du cycle de vie des produits, de développer un raisonnement basé sur la précaution et de mettre en place des stratégies de prévention adaptées :"

Ainsi, dans sa phrase de conclusion (comme dans les fiches remplies par les élèves en préparation), l'élève-actrice étend les préoccupations de l'INRS centrées sur la protection des travailleurs, à la protection des individus en général.

L'élève représentant l'INRS n'est pas la seule à estimer que le développement des nanotechnologies est souhaitable. L'élève représentant l'Académie de Médecine souligne également l'intérêt d'investir dans ces recherches lors du tour de table final.

18.3.13.4 Développer les nanotechnologies en tenant compte des risques éventuels

L'élève représentant l'Académie de Médecine considère favorablement les développements des nanotechnologies puisqu'ils ouvriraient des perspectives pour la médecine. Elle ajoute néanmoins que leur développement doit tenir compte des risques.

265	Béné - Gestionnaire du débat	Oui. Madame de l'Académie de Médecine
266	Lucie - Académie Médecine	Je la rejoins. Je pense que c'est important de, d'avoir de l'argent pour les, pour leur développement, parce que si elles peuvent permettre de développer les programmes en médecine, c'est le plus important, tout en tenant compte bien sûr des risques. Eventuels.

En préparation, cette élève-actrice et son groupe avaient aussi noté que les nanotechnologies pourraient avoir des applications en médecine. Dans l'un des tableaux, ils ont ainsi écrit :

"Les nanosciences et les nanotechnologies permettent les progrès dans le secteur de la médecine, grâce à une médecine personnalisée."

Les élèves ont d'ailleurs classé cet aspect comme le plus important du cahier. Ils ont de plus relevé certaines recommandations sur la prise en compte des risques. Ils ont ainsi écrit :

"prendre des précautions afin de minimiser les risques".

En revanche aucune préconisation n'a été notée concernant l'attribution de budgets de recherche à telle ou telle facette des nanotechnologies.

De même, dans le cahier d'acteur de l'Académie de Médecine, plusieurs paragraphes sont consacrés aux possibilités qu'ouvrent les nanotechnologies dans le domaine médical. On lit par exemple :

> *"Beaucoup d'autres avancées thérapeutiques récentes sont indirectement dues aux reThibaultbées techniques des nanosciences. Citons les stimulateurs cardiaques, sensoriels (implants auditifs), neurologiques (intracérébraux ou périphériques), les biosenseurs pilotant un traitement ou guidant la recherche pharmacologique, la réalisation de caméras digestives ou montées sur cathéters, etc. Et puis, la médecine, comme l'ensemble de notre quotidien, commence à bénéficier presque à son insu de la convergence des nano sciences avec les techniques de l'information et des sciences cognitives : pour un amputé du bras, par exemple, la télécommande par la pensée du patient d'une prothèse robotisée est maintenant possible." (ANM)*

En outre, la demande de "tenir compte des risques" figure également dans le cahier d'acteur de l'Académie de Médecine où il est par exemple écrit :

> *"Pour toutes ces raisons, il importe que :*
> *1/ Les programmes de recherches fondamentales sur les actions biologiques des nano-objets soient amplifiés, mais surtout que des projets prioritaires puissent être pragmatiquement décidés en urgence, en fonction de l'apparition éventuelle de constatations inquiétantes pour la santé publique." (ANM)*

Enfin, les questions d'orientation des financements et d'allocation des ressources ne sont pas vraiment discutées dans le cahier d'acteur, à part l'allusion à des "projets prioritaires" figurant dans l'extrait ci-dessus.

Dans sa phrase de conclusion, l'élève va donc un peu plus loin que l'Académie de Médecine en déChloént qu'il est important de débloquer des fonds pour le développement de programmes de recherche en médecine.

Ce type de prise de position mettant l'accent sur le développement des nanotechnologies mais aussi sur la prise en compte de certains problèmes surgissant dans leur sillage se retrouve dans la prise de parole de l'élève représentant le CNRS et le CEA.

18.3.13.5 Développer les nanotechnologies, trouver des solutions pour la sécurité, puis communiquer

Au moment de conclure, l'élève-actrice représentant le CNRS et le CEA se déclare favorable au développement des nanotechnologies et remet en avant l'importance qu'elle accorde au fait de *"communiquer avec le reste de la population"*.

264	Aude - CNRS/CEA	Moi je suis pour euh l'aide du développement des nanotechnologies, pour qu'on puisse trouver des solutions et qu'on puisse euh, être sur la sécurité et après, communiquer avec euh avec le reste de la population.

À propos d'aide au développement des nanotechnologies, dans leur cahier d'acteur, le CNRS et le CEA écrivent :

> *"Depuis dix ans, l'Etat développe son soutien aux recherches en nanosciences et nanotechnologies. Il affiche une politique volontariste avec un effort financier croissant, soutenu par celui des régions et des collectivités locales. C'est ainsi que la France a mis en place un réseau de centres de compétences (C'nano), d'infrastructures mutualisées (salles blanches, platefor- mes de caractérisation...), de*

pôles d'innovation (Minatec, Nano-INNOV) et de structures spécialisées (veille scientifique, valorisation). Le CEA et le CNRS, au côté des acteurs académiques et industriels, sont les deux acteurs majeurs de ce réseau qu'ils ont contribué à créer et à financer. " (CNRS-CEA)

Le CNRS et le CEA ne sont pas ainsi dans une posture de dénonciation du développement des nanotechnologies puisqu'ils en sont acteurs. Ainsi, même si elle ne mobilise pas textuellement le contenu de son cahier, l'élève-actrice représentant le CNRS et le CEA soutient toutefois un point de vue cohérent avec ce qu'on peut lire dans ce document.

Par ailleurs, dans les tableaux remplis par les élèves en préparation du jeu de rôle, les élèves ont écrit :

"aide au financement de ces recherches"

L'élève-actrice retranscrit donc à l'oral un élément qu'elle et son groupe avaient noté en préparation.

L'élève ajoute de plus qu'elle est pour *"l'aide du développement des nanotechnologies, pour qu'on puisse trouver des solutions être sur la sécurité et après, communiquer avec euh avec le reste de la population".*

Le terme de "solutions" n'apparaît pas dans le cahier du CNRS et du CEA. Cependant on peut y lire :

"Les " nanos "peuvent nous aider à évoluer vers une société plus économe en énergies et en matières premières." (CNRS-CEA)

ou encore

"Les travaux du CEA et du CNRS dans les domaines des nanosciences et des nanotechnologies répondent aux grands enjeux de recherche et de société du siècle naissant." (CNRS-CEA)

Il est néanmoins difficile à dire si c'est cette idée que l'élève représentant le CNRS et le CEA souhaite exprimer par la proposition "pour qu'on trouve des solutions".

Enfin, il nous semble que lorsqu'elle met en avant l'idée de sécurité et de dialogue, l'élève actrice fait référence à certaines dimensions de "l'approche responsable" mentionnée par le CNRS et le CEA.

"Chaque organisme a mis en place une démarche responsable, qui comprend l'évaluation des risques liés aux nanomatériaux et leur maîtrise, des réflexions éthiques qui réunissent scientifiques, économistes, sociologues et philosophes, l'analyse des répercussions possibles des innovations sur la société, la mise en place d'espaces d'information et de dialogue avec la société." (CNRS-CEA)

L'élève parle cependant de *"communiquer"* et plutôt que d'information et de dialogue. De plus, elle laisse entendre, que ces efforts de communication n'interviendront qu'après tout le reste, ce qui n'apparaît pas par exemple dans l'extrait du cahier d'acteur précédent.

Ces trois éléments : intérêt de développer les nanotechnologies, nécessité de garantir la sécurité et importance de l'information des gens, se retrouvent justement dans l'intervention conclusive de l'élève-actrice représentant l'Association Française Transhumaniste.

18.3.13.6 Une révolution exceptionnelle à mener en douceur et en informant les gens

L'élève représentant l'Association Française Transhumaniste emploie le terme de révolution lorsqu'elle met souligne l'intérêt de développer les nanotechnologies.

262	Aurélie - Transhumanistes	Moi je trouve qu'on parle quand même qu'on parle assez négativement des nanotechnologies. Je pense qu'on est vraiment au tout début d'une révolution exceptionnelle qui va vraiment chambouler la société puisqu'on a tellement de domaines où l'on a fait des erreurs et je pense que les nanotechnologies peuvent vraiment aider euh, je pense même au niveau de la santé, au niveau de l'homme et de l'écologie, mais, il faut y aller doucement pour être sûr et donc voilà. Il faut informer les gens et continuer à faire des recherches. Je suis très satisfaite de notre travail. *(Elle rit)*

On trouve plusieurs occurrences du terme "révolution" dans le cahier d'acteur de l'Association Française Transhumaniste :

> *"La révolution nanotechnologique pose des questions essentielles"*
> *"Cette nouvelle révolution porte également sur les modifications possibles des individus."*
> *"La révolution nanotechnologique tend à des transformations radicales" (AFT)*

L'élève s'inspire donc du vocabulaire employé par l'organisation qu'elle représente. Elle cite ensuite des domaines où les nanotechnologies permettraient de mettre au point des applications nouvelles : la santé, l'homme et l'écologie.

L'Association Française Transhumaniste détaille aussi certaines perspectives ouvertes par ces développements :

> *" Les matériaux nouvellement créés n'existent pas à l'état naturel. Ils possèdent des propriétés inouïes. Mais ce qui renforce leur aspect révolutionnaire, ce peut être, selon les matériaux ou les techniques, leur capacité à modifier le "naturel"qui les environne par leur propre fait. Dans le cas des matériaux, nous pourrions citer - côté optimiste, les projets de dépollution des hydrocarbures, ou - côté catastrophiste, le scénario de science-fiction de la "gelée grise"auto-répliquante à l'infini et susceptible de tout envahir.*
>
> *Concernant l'Humain, les projets ne manquent pas non plus : Nanomédecine tout d'abord (thérapies pratiquées par des nanorobots injectés dans l'organisme, médicaments délivrés par nanocapsules) avec pour conséquence possible un allongement encore important de l'espérance de vie, mais bientôt, nano augmentations de tous ordres, grâce à des nano implants, afin d'améliorer les capacités motrices, perceptives ou cognitives du corps ou du cerveau." (AFT)*

L'élève fait donc allusion dans son intervention à des domaines qui, d'après l'Association Française Transhumaniste vont connaître des bouleversements avec le développpement des nanotechnologies. Elle n'illustre pas cependant ici la nature de ces "chamboulements".

Enfin, l'élève reprend à la fin de son intervention, trois éléments qu'elle a déjà mis en avant dans le jeu de rôle. D'abord elle estime :

> *"il faut y aller doucement pour être sûr".*

Elle fait ici sans doute écho à ce que l'Association Française Transhumaniste écrit :

> *"Notons bien qu'il n'y a pas urgence. L'Humanité n'est pas menacée au point d'avoir à tout prix besoin que ces technologies soient développées le plus vite possible quitte à prendre les plus grands risques." (AFT)*

L'élève indique ensuite qu' *"il faut informer les gens"*. Comme nous l'avons déjà noté, dans le cahier d'acteur, l'idée d'information des gens n'apparaît explicitement que lorsque l'Association Française Transhumaniste se présente.

Enfin, l'élève affirme qu'il faut *"continuer à faire des recherches"*. Ici elle répercute le premier des points que l'association qu'elle représente met en exergue dans la synthèse de son cahier où l'on peut lire :

> *"> Oui aux nanotechnologies dans tous les domaines, sans aucun tabou.*
> *> Oui aux contrôles nécessaires lors des recherches, et dans tout processus en amont de la dissémination.*
> *> Oui à la recherche systématique du recyclage en aval.*
> *Dans tous les cas, cela signifie bien davantage de moyens pour la recherche." (AFT)*

Enfin, une dernière élève-actrice exprime aussi explicitement une prise de position en faveur du développement des nanotechnologies. Il s'agit de l'élève représentant le CENG.

18.3.13.7 Des bienfaits, manque de recul et information du public

Comme au début du jeu de rôle, l'élève représentant le CENG se déclare "pour les nanotechnologies".

246	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord, vous voulez réagir aussi, madame
247	Cécilia - CENG	Euh bah moi je suis pour les nanotechnologies, parce que je pense qu'elles ont vraiment des bienfaits qui pourront être très intéressants même si il faut avoir du recul, mais je pense qu'il faudrait informer le public.

Comme nous l'avons déjà noté plus haut, le CENG écrit dans son cahier :

> *"Notre propos refuse le choix binaire : pro-techniciste ou anti-techniciste ; pro ou anti-nano. La volonté de dépasser la dimension technique et éthique implique de se situer dans l'espace et le champ du politique : celui des logiques d'acteurs et des rapports entre les acteurs économiques, les experts, les pouvoirs publics." (CENG)*

L'élève-actrice en se déChloént pour les nanotechnologies propose ainsi un codage binaire du débat et ne reprend pas à son compte le refus du CENG de l'alternative pour ou contre les nanotechnologies. On retrouve par ailleurs le terme de "bienfait" et cette prise de position pour les nanotechnologies dans les fiches remplies par les élèves en préparation du jeu de rôle. Elles ont ainsi écrit :

> *"les bienfait des nanotechnologies en neurologie → opérations réussies sur le cerveau de patients souffrant de maladies dégénératrices".*
> ou encore
> *"L'acteur est majoritairement pour les nanotechnologies mais il regrete le manque de communication avec le public de la part des entreprises nanotechnologiques qui pourrait entrainer des problèmes avec les travailleurs".*

Dans cet extrait relevé sur les fiches des élèves, figure ainsi également le terme de communication. Il peut-être mis en regard avec la demande "d'information" que formule l'élève.

Le CENG, pour sa part, mentionne aussi dans son cahier d'acteur les questions d'information des citoyens qu'il met en perspective avec l'idée de permettre une participation effective des citoyens aux prises de décisions. Dans la synthèse du cahier d'acteur, on peut en effet lire :

> *"Il faut prendre le temps du débat démocratique, inventer de nouvelles formes de participation citoyenne qui pèsent effectivement sur les décisions. Il faut multiplier*

les actions de formation pour un large public, les actions vers les collectivités publiques pour qu'elles modifient leurs modes de décision, de prendre en compte les demandes des salariés, des scientifiques et techniciens. Le CENG entend prendre sa part la construction d'un nouveau rapport entre développement technologique et société, où le contrôle démocratique prenne toute sa place." (CENG)

Ainsi, dans leurs interventions finales, l'élève représentant le CNRS et le CEA parle de la "communication avec le public" et les élèves-actrices représentant le CENG et l'Association Française Transhumaniste d' "information du public". L'élève-acteur représentant la Fondation Sciences Citoyennes aborde aussi ce thème.

18.3.13.8 Manque de recul et d'information

L'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes souligne deux points dans sa prise de parole de conclusion. D'abord le caractère lacunaire des connaissances disponibles sur la toxicité et ensuite le manque d'information du public.

254	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord.
255	Thomas - Sciences Citoyennes	Moi je considère qu'il y a deux points. D'une part le manque, vraiment le manque de connaissances, le manque de recul par rapport aux, à la toxicité et les risques que ça entraîne. Et pui d'autre part euh, le manque d'information du public.
256	Béné - Gestionnaire du débat	Donc euh, le manque de recul... Est-ce que vous seriez aussi pour un moratoire comme le monsieur des Amis de la Terre ou vous êtes, euh, vous n'avez pas de position là-dessus ?
257	Thomas - Sciences Citoyennes	Ah... Euh, je n'ai pas de position particulière.

Sur les fiches qu'ils ont remplies lorsqu'ils étudiaient le cahier de la Fondation Sciences Citoyennes, les élèves ont noté sur à la question "quels aspects du développement des nanosciences et des nanotechnologies sont importants pour cet acteur ?"

"- pour cet acteur les aspects important sont le manque d'informations concernant la toxicité des nanos et leurs consequences sur l'environnement.

- L'etat organise un debat ne permettant pas réélement d'evaluer l'avis de la pop. celle-ci n'étant pas informer. ne peut pas formuler d'avis constructifs."

On retrouve ainsi ici les thèmes d'une part de l'incertitude entourant la toxicité des nanoparticules et d'autre part de l'information de la population qui est, lui, évoqué dans le contexte d'une critique des procédures de délibération.

Par ailleurs, comme nous l'avons déjà indiqué, la Fondation Sciences Citoyennes écrit que les connaissances en matière de toxicité des produits contenant des nanoparticules sont insuffisantes. On peut ainsi lire dans son cahier d'acteur :

"Faute d'avoir développé des méthodes adéquates d'évaluation, nous n'avons pas de connaissances sur la toxicité de ces produits qui sont pourtant disséminés depuis dix ans, en particulier dans l'alimentation." (FSC)

ou encore

"La maîtrise de ces technologies ne peut qu'accroître le pouvoir de ceux qui les détiennent au détriment des autres, et leur commercialisation incontrôlable

conduira inévitablement à de nouveaux monopoles, sans compter qu'aujourd'hui, on est incapable de déterminer les risques et encore moins les dangers que représentent ces objets pour l'environnement et la santé humaine." (FSC)

Par ailleurs, la Fondation Sciences Citoyennes tient aussi des propos sur l'information des citoyens dans le cadre d'une réflexion sur les procédures de débat :

"Le Débat public ne permet pas d'évaluer objectivement l'avis de la population, car il cumule des opinions plus ou moins informées représentant souvent des intérêts particuliers incompatibles avec l'intérêt général. À l'évidence, pour qu'il soit argumenté, l'avis des citoyens doit se nourrir des informations les plus complètes possibles. La convention de citoyens, qui combine une formation préalable (où les citoyens étudient) avec une intervention active (où les citoyens interrogent) et un positionnement collectif (où les citoyens discutent en interne puis avisent), apparaît aujourd'hui, et après de nombreuses expériences mondiales, capable de réaliser ces objectifs. Le prix à payer pour cet exercice démocratique est la nécessité logistique de le limiter à un petit nombre de citoyens, tirés au sort, plutôt que de consulter la population entière." (FSC)

L'élève s'appuie donc sur des éléments identifiés dans le cahier d'acteur de la Fondation Sciences Citoyennes que lui et son groupe avaient relevés, mais il ne reprend pas, lorsqu'il parle d'information du public, la réflexion de la Fondation Sciences Citoyennes sur la manière dont il serait possible de permettre une participation citoyenne effective aux choix scientifiques et technologiques.

Enfin, interrogé par la gestionnaire de débat sur son point de vue vis-à-vis de la demande de moratoire formulée par l'élève représentant les Amis de la Terre, il ne prend pas position. Il ne porte donc pas à l'oral l'une des propositions formulées par la Fondation Sciences Citoyennes dans son cahier d'acteur où il est écrit :

*"**Propositions***
1. Moratoire sur la recherche appliquée et la commercialisation des nanoproduits" (FSC)

L'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes parle ainsi notamment de manque de connaissances sur la toxicité et les risques. Quelque chose d'analogue est d'ailleurs mis en avant par l'élève représentant la CFE-CGC.

18.3.13.9 Prendre du recul et établir une réglementation

L'élève représentant la CFE-CGC conclut en énonçant deux recommandations : prendre du recul sur les nanotechnologies et mettre en place une réglementation.

242	Béné - Gestionnaire du débat	Si parce que pour la fin, je voudrais garder un peu de temps, donc on va conclure ce débat. Donc on va conclure en faisant un petit tour de table, savoir quel est pour vous l'enjeu essentiel. Donc, on va peut-être commencer par monsieur de la CFE-CGC. Au terme de ce débat, qu'est-ce que vous voulez , quel est le message que vous voulez faire passer ?
243	Cédric - CFE-CGC	Bah prendre un peu de recul sur les nanotechnologies et établir une réglementation dessus.

Comme précisé précédemment, le terme de recul n'apparaît pas dans le cahier d'acteur de la CFE-CGC. On peut toutefois lire dans ce document :

"Des questions se posent également sur l'impact environnemental des processus de production, sur les problèmes de transport, de stockage et de cycle de vie des nanomatériaux. On n'a que peu d'informations aujourd'hui sur leur interaction avec les systèmes vivants, de sorte qu'il est difficile d'évaluer le danger potentiel qu'ils représentent." (CFE-CGC)

L'élève mobilise donc l'une des prises de position présente dans le cahier d'acteur de la CFE-CGC. De même, comme nous l'avions indiqué, ce syndicat est aussi favorable à la mise en place d'un encadrement législatif des nanotechnologies.

"La puissance publique doit utiliser davantage son pouvoir normatif et réglementaire pour favoriser la mise sur le marché de produits moins agressifs pour l'environnement et non toxiques pour la santé humaine." (CFE-CGC)

Ces recommandations que l'élève-acteur représentant la CFE-CGC formule dans sa prise de parole finale, font donc référence à des prises de positions figurant dans le cahier d'acteur de ce syndicat. Elles n'avaient toutefois pas été notées parmi les recommandations répertoriées par les élèves dans leurs fiches où avaient seulement relevé dans les cases "recommandations" de leurs tableaux :

"Developper intelligement les nanotechnologies
(investissement, coopération, surveillance systematique de la toxicité, santé salarié)"

18.3.13.10 L'exemplarité de l'industrie cosmétique

Enfin, l'élève représentant la FEBEA aborde lui aussi, au cours du tour de table de conclusion, certains thèmes abordés par d'autres acteurs : l'information du public, les questions de toxicité. Il leur donne cependant une couleur particulière en les mettant en perspective avec "l'exemplarité" de l'industrie cosmétique.

252	Béné - Gestionnaire du débat	D'accord, vous vouliez réagir ?
253	Mathieu - FEBEA	Je pense que les autres industries devraient prendre exemple sur l'industrie du cosmétique qui fait quand même très attention et qui fait des études avant de, de, d'utiliser des produits avec des nanotechnologies et qui a bien informé le public dans la mesure du possible, de, de ce qu'on sait, même si c'est, même si pour l'instant, c'est difficile.

Lorsque l'élève-acteur estime que *"les autres industries devraient prendre exemple sur l'industrie du cosmétique"* il verbalise un message qui transpire au travers des derniers paragraphes du cahier d'acteur de la FEBEA. On peut en effet y lire :

" un guide de Bonnes Pratiques de protection des travailleurs exposés aux nanomatériaux dans l'Industrie cosmétique est en cours d'élaboration.

L'Industrie cosmétique, pionnière de l'encadrement des nanomatériaux

Le Règlement " Cosmétiques », voté le 24 mars 2009 au Parlement européen, introduit un nouveau système d'encadrement des nanomatériaux. Il impose à toute entreprise qui souhaite commercialiser un produit contenant des nanomatériaux, d'en informer, 6 mois avant la mise sur le marché, la Commission européenne. En cas de doute, cette dernière pourra requérir l'avis du Comité Scientifique pour

la Sécurité des Consommateurs. De plus, l'entreprise devra indiquer la présence de ces nanomatériaux dans la liste des ingrédients qui figure déjà obligatoirement sur tous les produits. Une règle d'étiquetage a été prévue à cet effet : nom de l'ingrédient [nano]. Cela donnera par exemple : Titanium dioxide [nano].

L'Industrie cosmétique est ainsi le premier secteur économique à se doter d'un encadrement spécifique des nanomatériaux." (FEBEA)

L'élève représentant la FEBEA ne parle toutefois pas d'encadrement lorsqu'il souligne l'exemplarité de l'industrie cosmétique. Il mentionne en revanche les études sur la toxicité, l'information du public *"dans la mesure du possible"*.

À propos des recherches sur la toxicité, comme nous l'avons déjà rapporté, la FEBEA cite les résultats de plusieurs études. Elle écrit aussi :

"Dans le cadre des questions actuellement posées sur la sécurité des nanomatériaux utilisés en cosmétique, l'Industrie cosmétique poursuit ses travaux : des études scientifiques sont en cours afin de préciser les propriétés des nanomatériaux solides et d'en confirmer l'innocuité, notamment dans le cadre de REACh et des programmes mondiaux sur l'évaluation des nanotechnologies." (FEBEA)

Par ailleurs, comme nous l'avons aussi signalé, la FEBEA ne dit pas grand chose de l'information du public hormis lorsqu'elle détaille le réglement "cosmétique" qui met en place une règle d'étiquetage.

Finalement au cours de ce tour de table final, l'élève-acteur représentant les Amis de la Terre demande un moratoire sur la recherche et la commercialisation des nanotechnologies. Il reprend ainsi mot pour mot ce qu'on peut lire aussi bien dans le titre que dans la synthèse du cahier d'acteur de cette association.

De son côté, l'élève représentant la CNIL mentionne deux idées présentes dans le cahier de cette autorité administrative. Elle souligne en effet pour conclure, que les nanotechnologies vont être de plus en plus nombreuses et que ces nouvelles technologies doivent garantir la confidentialité des informations.

Plusieurs élèves profitent par ailleurs de ce tour de table final pour exprimer une prise de position en faveur du développement des nanotechnologies.

Parmi eux, il y a l'élève représentant l'INRS. Elle estime que "*c'est bien de développer*" les nanotechnologies à la condition que ces développements n'occasionnent pas de problèmes sanitaires par la suite. Elle étend alors les préconisations de l'INRS traitant de la protection des travailleurs, à la protection des individus en général.

L'élève représentant l'Académie de Médecine souligne, elle, l'importance de développer les nanotechnologies du fait de leurs applications en médecine. Elle va aussi un cran plus loin que ce que propose cette société savante en suggérant de débloquer des fonds pour cela. Elle ajoute enfin qu'il faut tenir compte des risques.

Pour sa part, l'élève-actrice représentant le CNRS et le CEA affiche son soutien au développement des nanotechnologies. Puis, faisant écho à "l'approche responsable" décrite dans le cahier d'acteur de ces organismes de recherche, elle déclare accorder de l'importance au fait de *"communiquer avec le reste de la population"*.

Au moment de conclure, l'élève-actrice représentant l'Association Française Transhumaniste, parle, elle, des nanotechnologies comme d'une révolution. Elle cite ensuite des domaines où les nanotechnologies permettraient de mettre au point des applications nouvelles : la santé, l'homme et l'écologie. Elle indique enfin qu'il faudrait mener ces développements doucement, informer les gens et poursuivre les recherches.

L'élève-actrice représentant le CENG fait aussi partie des élèves-acteurs se prononçant "pour les nanotechnologies". Elle passe ainsi outre le refus de l'alternative pour ou contre les nanotechnologies que le CENG met en avant dans son cahier d'acteur. Elle explique ce positionnement en invoquant les "bienfaits" des nanotechnologies, élément qu'on retrouve dans

les fiches qu'elle et ses camarades ont remplies en préparation du jeu de rôle. Toutefois, elle recommande aussi de mieux informer la population.

Ensuite, quand vient le tour de l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes, il souligne deux choses : l'insuffisance de connaissances sur la toxicité de nanoparticules et le manque d'information du public. Il s'appuie ainsi sur des éléments identifiés dans le cahier d'acteur de la Fondation Sciences Citoyennes sans reprendre, lorsqu'il parle d'information du public, la réflexion de la Fondation Sciences Citoyennes sur la manière dont il serait possible de permettre une participation citoyenne effective aux choix scientifiques et technologiques. Par ailleurs quand la gestionnaire de débat lui demande son point de vue sur le moratoire proposé l'élève représentant les Amis de la Terre, il ne prend pas position.

De son côté, l'élève représentant la CFE-CGC conclut en énonçant deux recommandations : prendre du recul sur les nanotechnologies et mettre en place une réglementation. Il mobilise ici deux prises de positions figurant dans le cahier d'acteur de ce syndicat.

Enfin, l'élève-acteur représentant la FEBEA profite de cet ultime tour de parole pour faire la promotion des actions mises en place par l'industrie cosmétique. Il mentionne les études sur la toxicité qui figurent dans le cahier d'acteur de la FEBEA et les efforts pour informer le public, qui, en revanche, ne sont pas vraiment mis en avant dans ce document... Il intervient ainsi une dernière fois dans le jeu de rôle en s'inspirant sans doute des accents laudatifs qu'utilise la FEBEA pour rendre compte de ses initiatives "pionnières" en matière d'encadrement des nanomatériaux.

Passé ce tour de table conclusif, le jeu de rôle prend fin et les élèves se rassemblent en petits groupes comme au début de la séance.

Nous arrivons donc au terme de l'examen des prises de paroles des élèves acteurs. Cependant, avant d'aller plus loin, nous voudrions discuter le contenu de ce jeu de rôle.

18.4 Résumé thématique du contenu du jeu de rôle et discussion

Notre travail a une double finalité.

Il vise à apporter des éléments de réponse à notre question de recherche. Nous cherchons ainsi à caractériser comment les élèves s'emparent des différents objets de controverse et mettent à distance les discours portés par différents acteurs intéressés par les développements des nanotechnologies.

Dans le même temps, nous poursuivons l'objectif de produire une séquence pédagogique permettant aux élèves de comprendre les différentes facettes des débats soulevés par les développements des nanotechnologies.

Dans ce paragraphe de discussion, nous allons donc revenir sur la manière dont les élèves mobilisent et discutent des différents objets de questionnements présents dans leurs cahiers d'acteur pour caractériser comment ce jeu de rôle répond à ces deux objectifs.

Ce paragraphe est organisé en six parties. Dans dans les cinq premières, nous synthétiserons puis discuterons les éléments mis en avant par les élèves sur les cinq volets de questionnements que nous avons identifiés au cours de notre analyse préliminaire des controverses. Puis, nous refermerons cette partie d'analyse du jeu de rôle proprement dit en nous interrogeant sur la mise à distance par les élèves des discours portés par les organisations dont ils ont étudié le cahier d'acteur.

18.4.1 Questions sanitaires et environnementales

Résumé des interventions des élèves De nombreux élèves-acteurs ont abordé au cours du jeu de rôle les questions sanitaires et environnementales soulevées par les développements

des nanotechnologies.

La première allusion aux questions de toxicité a lieu au détour de la discussion sur l'utilisation des nanotechnologies en neurologie qui a marqué le début du jeu de rôle. L'élève représentant l'INRS soulève alors les problèmes de toxicité. S'appuyant sur ce qu'on peut lire dans son cahier d'acteur elle explique que des études ont été faites, et qu'il s'avère que les nanotechnologies peuvent se révéler *"néfastes"*. Elle étend alors les interrogations de l'INRS qui portent sur les nanoparticules, aux applications des nanotechnologies en neurologie. De plus, elle mentionne aussi, sans que cela ne s'articule vraiment avec le reste de son argumentation, que dans certaines conditions, les nanotechnologies peuvent entrer dans le corps par les voies digestives, cutanées et respiratoires. De nouveau, elle substitue le terme au nanotechnologies à celui plus restreint de nanoparticules employé dans le cahier d'acteur de l'INRS.

La discussion continue alors et les questions de toxicité sont mises entre parenthèses pendant quelques tours de parole.

Elles reviennent sur le devant de la scène un peu plus tard quand l'élève-acteur représentant la Fondation Sciences Citoyennes prend la parole.

Restituant une idée esquissée dans le cahier d'acteur de la Fondation Sciences Citoyennes, il déclare que les connaissances sur la toxicité des nanoparticules sont insuffisantes au regard des utilisations qui en sont faites.

L'élève représentant l'Association Française Transhumaniste intervient alors. Faisant écho à la synthèse du cahier d'acteur de cette organisation, elle clame son soutien au développement des nanotechnologies. Elle ajoute toutefois deux petits bémols en indiquant d'une part qu'il faut en parler et d'autre part qu'il faut faire des tests. L'allusion à la publicisation ou à la mise en débat des nanotechnologies est peut-être à mettre en relation avec la phrase *"Oui aux nanotechnologies dans tous les domaines, sans aucun tabou"* à la fin du cahier d'acteur. L'injonction "il faut parler des nanotechnologies" n'est toutefois pas vraiment développée dans ce document. Par ailleurs, la demande de mise en place de tests est peut-être inspirée par ce que propose l'Association Française Transhumaniste lorsqu'elle écrit *"oui aux contrôles nécessaires lors des recherches et dans tout processus en amont de la dissémination"*.

Rebondissant sur cette allusion à des tests, l'élève représentant le CNRS et le CEA prend ensuite la parole. Utilisant ce que le CNRS et le CEA écrivent lorsqu'ils dépeignent leur "approche responsable" du développement des nanotechnologie, elle souligne la part que ces organismes de recherche prennent dans les travaux sur les risques.

C'est alors que l'élève représentant la FEBEA intervient. Répercutant des éléments issus de son cahier d'acteur, il discute de l'emploi de dioxyde de titane nanométrique dans les crèmes solaires, explique que des études ont été menées et que cet ingrédient est *"plus efficace tout en n'étant pas dangereux"*. Puis, s'inspirant du contenu du document qu'il a étudié en préparation, il indique qu'une seule étude a montré que le TiO_2 serait toxique par inhalation. Ici, il ne précise pas cependant qu'il s'agit d'une étude sur les humains et que la FEBEA cite aussi d'autres études sur les rats montrant la survenue de cancers après dépôt de TiO_2 dans la trachée de ces rongeurs.

L'élève représentant la FEBEA déclare ensuite que les produits cosmétiques contenant des nanotechnologies sont soumis à un préavis de 6 mois avant toute commercialisation. Là, brodant un peu à partir du canevas donné par le document de la FEBEA, il explique que cette durée est là pour permettre la réalisation d'études préalables. Enfin, s'inspirant de la rhétorique de la FEBEA, il achève son intervention en insistant sur le caractère pionnier de l'industrie cosmétique dans les études sur les risques. Il reprend alors le terme de pionnier qui figure dans le cahier de la FEBEA, lorsque ce syndicat professionnel indique que l'industrie cosmétique est "pionnière en terme d'encadrement des nanomatériaux".

Ici, l'élève-actrice représentant l'INRS se manifeste. Apportant des éléments dans le débat qui ne sont pas en lien avec le contenu du cahier de l'INRS, elle rétorque à l'élève représentant

l'industrie des cosmétiques, que des enfants pourraient très bien inhaler ces crèmes solaires.

Ce dernier répond.

Il mobilise le contenu de son cahier d'acteur pour apporter quelques détails sur l'étude qu'il vient de mentionner. Son discours est ici un peu embrouillé. Il en tire néanmoins comme conclusion que ce risque n'est pas *"très démontré"* puis met en avant le rôle du dioxyde de titane dans la prévention des cancers de la peau que souligne aussi la FEBEA.

L'élève-actrice représentant l'INRS lui répond en demandant s'il ne *"faudrait pas éliminer tous les risques"*. Elle amplifie ici le discours de l'INRS qui s'intéresse effectivement à la prévention des risques mais ne formule pas de proposition aussi radicale.

Pour trancher le débat, l'élève représentant la FEBEA assène alors deux arguments. D'abord il affirme que pour l'instant aucun risque n'a été décelé. En disant cela, il se contredit par rapport à ces interventions précédentes. Puis, reprenant les propos de la FEBEA dans son cahier d'acteur, il souligne que cela fait des années que le dioxyde de titane est utilisé dans les crèmes solaires.

Passé cet épisode de discussion, la discussion aborde d'autres thèmes puis revient sur les questions de toxicité des nanoparticules.

Au cours de cette seconde série d'échanges sur les questions sanitaires soulevées par les développements des nanotechnologies, trois élèves insistent sur le manque de recul sur les questions de toxicité. L'élève représentant la CFE-CGC est le premier à soutenir ce point de vue. Il mobilise alors le contenu de son cahier d'acteur. Puis, interrogé par la gestionnaire de débat pour qu'il explicite ce qu'il entend par manque de recul, il déclare seulement *"bah enfin c'est nouveau quoi"*.

L'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes rebondit alors sur cette intervention pour expliciter pourquoi, selon lui, on manque le recul manque. Il ajoute *"c'est aussi les conséquences à long terme de l'utilisation de certains produits"*. La Fondation Sciences Citoyennes écrit elle, dans son cahier d'acteur, que les nano-produits sont utilisés en l'absence de connaissances de leur impact sur l'environnement et la santé.

Enfin l'élève représentant l'INRS est la troisième élève à évoquer le manque de recul. Apportant dans le débat un point de vue autre que ceux explicités dans le cahier d'acteur de l'INRS, elle considère qu'il ne faut pas essayer d'utiliser un composé pour soigner une maladie si l'on n'est pas entièrement sûr que cette substance ne va pas être la cause d'une autre pathologie. Elle revient aussi sur la toxicité du dioxyde de titane. Elle estime alors que cet ingrédient *"est plus ou moins toxique"* ou encore que ça *"dépend dans quoi on la met, avec quoi on la mélange"*.

Enfin suite à ces trois interventions sur les problèmes de recul sur la toxicité, l'élève représentant la FEBEA, met en avant les nombreuses années qui se sont déjà écoulées depuis les premières utilisations du dioxyde de titane dans les crèmes solaires sous sa forme macro. Il s'inspire ici sans doute du contenu du cahier d'acteur où la FEBEA indique que le nano-dioxyde de titane est utilisé dans les produits solaires depuis 20 ans.

La discussion s'oriente alors sur les questions d'information de la population. Elle ré-aborde le thème des effets des nanoparticules sur l'homme et l'environnement plus tard, lorsque l'élève représentant les Amis de la Terre est sollicité par la gestionnaire de débat. Celui-ci indique que les nanotechnologies peuvent avoir des effets néfastes pour l'environnement et cite les résultats d'une étude présentée par les Amis de la Terre dans leur cahier d'acteur sur l'impact de nanoparticules sur des plants de riz.

L'élève représentant la FEBEA demande alors la parole et ramène la discussion sur l'utilisation des nanotechnologies par l'industrie cosmétique. Il explique en s'appuyant sur ce qu'écrit la FEBEA que des nanocapsules sont utilisées pour amener le composé actif et le libérer au bon endroit. Puis extrapolant par rapport au document du syndicat professionnel

qu'il représente, il ajoute que cela évite la dissémination de produits de taille nanométrique dans l'environnement. Enfin, il conclut son intervention en assurant que des choses sont faites pour "prendre en compte les risques".

L'élève représentant les Amis de la Terre intervient de nouveau. Il déclare que les mesures de l'industrie cosmétique *"ne sont pas nécessaires"*, prenant alors une position ne figurant ni dans le cahier d'acteur des Amis de la Terre ni dans les fiches remplies par lui et son groupe préparation. Il explique ensuite en s'inspirant du cahier d'acteur, qu'au regard des 70 millions d'euros consacrés aux nanotechnologies, les investissements pour la protection de l'environnement sont insuffisants.

Enfin, suite à une relance de la gestionnaire de débat, l'élève représentant l'INRS reste prudente en demandant *"si c'est toxique pour l'environnement, est-ce que ça serait pas toxique pour l'homme"*?

Suite à ces échanges, les questions sanitaires et environnementales sont ré-abordées d'une manière assez générale par l'élève représentant l'Académie de Médecine qui fait allusion aux "risques". Cette élève-actrice affirme alors que "des principes de précautions sont respectés" et que "les risques sont mineurs". De son côté, dans son cahier d'acteur, l'Académie de Médecine discute aussi des risques sanitaires. Elle demande à ce que soit appliqué le principe de précaution et indique que les industriels "nano" prennent déjà un certains nombre de précautions. L'élève radicalise donc le propos de la société savante qu'elle représente.

Enfin lors du tour de table refermant le jeu de rôle, les préoccupations sanitaires et environnementales transparaissent dans les tours de parole de certains acteurs. L'élève représentant l'INRS se déclare en faveur du développement des nanotechnologies à la condition qu'il ne mettent pas en danger la santé des gens. Elle élargit alors le discours de l'INRS qui se focalise sur les travailleurs, à la protection des individus en général.

Ensuite, l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes remet l'accent, au moment de conclure, sur l'insuffisance de connaissances sur la toxicité de nanoparticules.

L'élève représentant la CFE-CGC recommande lui, de prendre du recul sur les nanotechnologies et de mettre en place une réglementation.

Enfin, l'élève-acteur représentant la FEBEA loue dans le tour de table final, l'exemplarité de l'industrie cosmétique en rappelant notamment que des études sur la toxicité sont mises en œuvre. Il met aussi en avant les efforts pour informer le public, qui, en revanche, ne sont pas vraiment au cœur du cahier d'acteur de la FEBEA, hormis lorsque cette organisation discute des initiatives en matière d'étiquetage.

Discussion Le passage en revue de toutes les interventions se rapportant aux préoccupations sanitaires et environnementales montre que les élèves ont discuté de toxicité des nanoparticules à la fois pour l'homme et l'environnement.

Les spécificités des nanoparticules en matière de toxicologie n'ont cependant pas vraiment été discutées.

Les questions d'expositions travailleurs n'ont de plus pas été explicitement abordées. En effet, à chaque fois que les élèves représentant l'INRS, la FEBEA ou la CFE-CGC sont intervenus, ils ont traité de problèmes de toxicité pour la population en général sans reprendre les spécifications apportées par les organisations qu'ils représentaient sur le cas des travailleurs.

Enfin, la discussion est aussi restée assez générale sur d'autres thématiques. C'est le cas pour tout ce qui a trait à la réglementation des utilisations des nanomatériaux. C'est aussi le cas pour ce qui concerne les mesures de "protection" pour préserver la santé des individus mises en avant par l'élève représentant l'INRS, ou encore celles visant à "informer la population" pour l'industrie cosmétique.

Finalement, avant de refermer ce paragraphe portant sur les questionnements liés aux effets sur la santé et l'environnements des nanoparticules et des nanomatériaux, nous voudrions discuter des éléments apportés par les élèves dans le jeu de rôle par rapport au contenu de leur cahier d'acteur.

D'abord, à plusieurs reprises, l'élève représentant la FEBEA nous semble être allé au delà du contenu du cahier d'acteur qu'il avait étudié, déChloént par exemple que l'utilisation de nano-capsules permettaient d'éviter la dissémination de nanoparticules dans l'environnement, ou encore que les 6 mois de préavis avant la commercialisation de nanoproduits cosmétiques étaient destinés à faire des études sur les risques. Ces extrapolations forçant un peu le trait ont pour effet d'amplifier encore le discours que l'industrie cosmétique tient dans son cahier d'acteur sur l'innocuité de ses produits et l'exemplarité de ses initiatives.

De son côté, l'élève représentant l'Académie de Médecine en affirmant que *"des principes de précautions sont respectés"* et que *"les risques sont mineurs"* a aussi introduit dans le débat une prise de position qui ne figurait pas dans l'éventail des cahier d'acteur distribués aux élèves. Elle nous a ici semblé aussi radicaliser le positionnement de l'Académie de Médecine en minimisant les interrogations portées par la société savante qu'elle représentait.

Par ailleurs, l'élève représentant les Amis de la Terre a affirmé que les mesures prises par les industries du secteur cosmétiques n'étaient pas nécessaires. Ici, ce contresens par rapport à ce que lui et son groupe avaient relevé en préparation est peut-être dû aux difficultés de l'oral.

Enfin, l'élève représentant l'INRS a déclaré que l'INRS se positionnait en faveur des développements des nanotechnologies à condition qu'elles soient utilisées à des fins utiles ou indispensables. Elle a aussi affirmé en conclusion que, selon cet institut d'expertise, c'est "bien de développer". Ces prises de position ne figurent pas dans le cahier d'acteur de l'INRS qui centre uniquement sa contribution au débat public sur les question de toxicité sans "prendre partie" pour les nanotechnologies. Par ailleurs, à plusieurs reprises, cette élève a défendu des points de vue ne figurant pas dans le cahier de la FEBEA lorsqu'elle est intervenue en interpellant les autres élèves sur leurs prises de position.

Ce fut le cas au début du débat, lorsqu'elle a étendu les questions de toxicité sur les nanoparticules aux nanotechnologies en général pour riposter à l'élève représentant le CENG.

Ce fut encore le cas lorsque l'élève représentant la FEBEA a parlé de toxicité du TiO_2 lors d'expositions par inhalation.

Ce fut enfin le cas lorsqu'elle a suggéré à l'élève représentant la FEBEA qu'il faudrait peut-être "éliminer tous les risques".

Ici il nous semble donc que l'élève-actrice s'est écartée de ce qu'on peut lire dans le cahier d'acteur qu'elle avait à sa disposition, pour mieux interroger voire pousser dans leurs retranchement les autres acteurs.

18.4.2 Utilisations en médecine des nanotechnologies

Résumé des interventions des élèves Nous voudrions à présent faire le point sur les interventions des élèves-acteurs qui se sont rapportées aux utilisations en médecine des nanotechnologies.

Passé le tour de table introductif, le jeu de rôle commence par aborder ce thème. L'élève-actrice représentant le CENG est en effet la première à intervenir et elle fait référence à l'exemple de Clinatec où elle estime que des malades atteints de maladies neurodégénératives ont été opérés avec succès. Elle se déclare donc "pour les nanotechnologies en neurologie" car selon elle, grâce aux nanotechnologies, des malades vont guérir.

La comparaison avec les passages du cahier d'acteur du CENG sur Clinatec montre que l'élève a ici seulement repris dans ce document l'existence de Clinatec "une clinique où des nanotechnologies sont utilisées" et le fait qu'à Clinatec des patients atteints de maladies neurodégénératives sont opérés. Elle laisse de côté les critiques que le CENG formule à l'encontre

de ce projet, qu'il estime révélateur de l'opacité entourant certaines décisions et développé sans contrôle public.

L'élève-actrice apporte de plus plusieurs éléments dans la discussion absents du cahier d'acteur du CENG. C'est ainsi le cas lorsqu'elle parle des opérations menées à Clinatec qui auraient été couronnées de succès, de la prise de position du CENG "pour les nanotechnologies" ou de la guérison des patients grâces aux nanotechnologies.

Elle utilise par ailleurs le registre pathétique pour défendre son point de vue, en déChloént que les nanotechnologies vont permettre à des malades condamnés d'être guéris. Cette première intervention suscite trois réactions.

L'élève représentant la CNIL s'exprime la première. En s'inspirant du contenu de son cahier d'acteur, elle met en avant que les nanotechnologies pourraient être utilisées pour contrôler les gens.

L'élève représentant la FEBEA intervient juste après pour déclarer que *"cela robotise un petit peu le cerveau de mettre des nanotechnologies à l'intérieur"*. Ce point de vue est ici introduit par l'élève dans le jeu de rôle sans qu'il ne se réfère au contenu du cahier d'acteur fournit par le syndicat professionnel de la cosmétique.

Enfin, l'élève représentant l'INRS intervient comme nous l'avons déjà rappelé au paragraphe précédent, en faisant l'hypothèse qu'il pourrait y avoir des problèmes de toxicité.

L'élève représentant le CENG répond alors à ces objections en restant dans le registre pathétique. Elle insiste sur le fait que les malades concernés sont de toute façon condamnés et que les nanotechnologies sont leur seul espoir. Ceci fait réagir l'élève représentant l'INRS. Proposant une objection ne faisant écho à aucune des prises de position explicitées dans son cahier d'acteur, elle demande : *"Mais ça risque pas d'utiliser des humains comme des cobayes si on ne sait pas si ça va vraiment s'améliorer dans tous les cas ?"* .

L'élève représentant le CENG persiste cependant et maintient son argument que les malades sont de toute façon voués à une mort prochaine. Elle enfonce d'ailleurs le clou après une nouvelle objection de l'élève représentant l'INRS. Cette dernière suggérait que ces opérations pourraient peut-être aggraver le cas de ces malades. L'élève représentant le CENG déclare alors que toutes les opérations effectuées à Clinatec ont été des succès.

La discussion dérive ensuite sur d'autres thématiques. L'élève représentant l'Association Française Transhumaniste refait toutefois allusion quelques répliques plus tard à ces opérations sur le cerveau lorsqu'elle détaille les *"tabous de la robotisation"* qui doivent selon elle, Thibaultber. En parlant de *"micro robot dans le cerveau"*, elle s'inspire ici peut-être du contenu du cahier d'acteur de l'Association Française Transhumaniste. Il est en effet question dans ce document de nano-implants permettant d'accroître les capacités sensorielles, motrices et cognitives de l'être humain.

Suite à ces échanges qui marquent le début du débat, le thème des utilisations des nanotechnologies en médecine revient au travers d'une prise de parole de l'élève représentant l'Académie de Médecine. Elle illustre certaines perspectives ouvertes par le développement des nanotechnologies : amélioration des diagnostics, des traitements et développement d'une *"médecine personnalisée"*. Elle tire tous ces éléments du contenu de son cahier d'acteur mais établit entre eux des liens de causalité systématique qui ne figurent pas dans ce document. Elle indique ainsi que les meilleurs diagnostics permettront de meilleurs traitements, et que ces meilleurs traitements permettront de guérir les malades. Enfin, elle achève son intervention en contrebalançant ces perspectives par les "risques" des nanotechnologies sans détailler ce qu'elle place sous cette terminologie. S'inspirant de ce qu'on peut lire dans le cahier d'acteur de l'Académie de Médecine à propos des risques sanitaires, l'élève-actrice déclare alors que ces risques sont évalués et pris en compte.

Plus tard dans le débat, l'élève représentant l'Académie de Médecine intervient de nouveau.

Reprenant les questions de vie privée évoquées par l'élève représentant la CNIL, elle explique que l'Académie de Médecine garantit que les informations personnelles concernant la définition biologique des individus ou leur traitement médical ne seront pas diffusées. Elle s'inspire ici d'éléments présents dans le cahier d'acteur de l'Académie de Médecine, puisque cette société savante écrit

"Deux problèmes nouveaux doivent être soulignés :

> *Le premier est lié à la définition biologique de chaque individu qui permettra de le soigner au mieux. Mais il serait inadmissible que ces informations personnelles de nature privée risquent d'être communiquées, tant aux autorités de l'Etat qu'à l'ensemble des membres de la société"*

L'élève-actrice apporte cependant un élément nouveau par rapport au cahier d'acteur de l'Académie de Médecine en affirmant que cette société savante se porte garante de la non-divulgation de ces informations.

Enfin, juste après ces interventions de l'élève représentant l'Académie de Médecine, la gestionnaire de la discussion interroge l'élève-actrice représentant le CENG sur le cas particulier de Clinatec. Celle-ci déclare n'avoir rien à ajouter sur les questions de réglementation.

Ces interventions sont les dernières à aborder explicitement le thème des utilisations des nanotechnologies en médecine avant le tour de table final.

Là, deux élèves en disent encore quelques mots au moment de conclure. Ainsi, l'élève représentant l'Académie de Médecine revient, lors de sa dernière intervention, sur l'importance *"d'avoir de l'argent"* pour développer les nanotechnologies du fait de leurs applications en médecine. Elle va alors un cran plus loin que la société savante qu'elle représente.

Enfin l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste estime lors du tour de table de conclusion que les nanotechnologies pourraient aider *"au niveau de la santé, au niveau de l'homme et de l'écologie".*

Discussion Cet inventaire de toutes les interventions des élèves-acteurs au cours du jeu de rôle ayant trait aux utilisations des nanotechnologies en médecine montre d'abord que certaines applications des nanotechnologies pour la médecine ont été citées par les élèves : les perspectives pour le diagnostic, la mise au point de nouveaux médicaments, l'utilisation de systèmes implantés dans le cerveau pour traiter les symptômes des maladies neurodégénératives.

Les questionnements soulevés par ces développements ont toutefois été assez peu discutés. L'élève représentant l'Académie de Médecine a évoqué les questions de divulgation des informations biologiques des individus. Les élèves représentant l'INRS et la FEBEA ont objecté au discours de l'élève représentant le CENG en invoquant le problème de la "robotisation du cerveau", les risques de toxicité ou encore l'importance du respect du patient. L'élève représentant l'Association Française Transhumaniste a enfin parlé de *"tabous de la robotisation".*

Par conséquent, les élèves n'ont pas discuté au cours de ce jeu de rôle de tout ce qui était relatif à l'amélioration des capacités humaines et à "l'éventuelle diversification de l'espèce humaine". Les questions esquissées par l'Académie de Médecine relatives à la révélation aux patients de leurs caractérisitiques biologiques n'ont pas non plus été abordées. Enfin, les interrogations du CENG sur la nanomédecine n'ont pas été portées dans le débat.

Nous voudrions aussi revenir sur les passages où les élèves ont utilisé des points de vue ou des arguments, sur le thème des utilisations en médecine, autres que ceux apparaissant dans leur cahier d'acteur.

D'abord l'élève représentant le CENG a, au tout début du jeu de rôle, apporté de nombreux éléments absents du cahier d'acteur du CENG. Elle a ainsi extrapolé trois choses à partir de la simple mention d'opérations chirurgicales sur le cerveau menées à Clinatec. D'abord que ces

opérations auraient été des succès. Ensuite qu'elles permettraient la guérison des malades atteints de maladies neurodégénératives. Enfin que, puisque les nanotechnologies permettraient de prolonger la vie de malades condamnés, le développement des nanotechnologies en neurologie serait souhaitable. Cette élève-actrice a ainsi complètement remodelé le discours du CENG.

Ces prises de position de l'élève représentant le CENG "pour les nanotechnologies" en raison de leurs "bienfaits" en neurologie, se retrouve par ailleurs dans les fiches remplies en préparation. On peut donc s'interroger sur la compréhension des élèves du cahier d'acteur qu'elles ont eu entre les mains ou bien sur la clarté et le suivi des consignes devant guider les élèves pour préparer le jeu de rôle.

De plus, ces intervention de l'élève représentant le CENG ont suscité plusieurs répliques d'élèves.

Ainsi l'élève représentant la FEBEA a parlé de robotisation du cerveau pour interpeler l'élève représentant le CENG.

De même l'élève représentant l'INRS a émis l'hypothèse que ces opérations utilisaient des humains comme des cobayes.

L'intervention de l'élève représentant le CENG a donc engendré une sorte d'effet boule de neige, amenant d'autres élèves-acteurs à soutenir des points de vue autres que ceux présentés dans leurs cahiers d'acteur.

Plus tard dans le débat, l'élève représentant l'Académie de Médecine a aussi avancé certains points de vue différents de ceux mis en avant par l'Académie de Médecine. Ainsi d'une part, cette élève nous semble avoir eu tendance à accentuer, plus que ne le faisait l'Académie de Médecine, les perspectives ouvertes par les nanotechnologies. C'est ainsi le cas lorsqu'elle explique que les nanotechnologies permettront de meilleurs diagnostics qui permettront de meilleurs traitements, qui eux-mêmes permettront la guérison de malades. D'autre part, en déChloént que l'Académie de Médecine garantirait la protection des données personnelles des patients, l'élève nous semble avoir donné l'impression que ce problème était mineur ou en passe d'être réglé.

On peut donc s'interroger. L'élève a-t-elle surinterprété le contenu du cahier d'acteur ? Ou bien est-ce simplement une radicalisation ou une schématisation du propos de l'Académie de Médecine due au fait que l'élève s'exprime par oral ?

Nous en venons maintenant aux interventions des élèves se rapportant aux questions de mise en danger des libertés.

18.4.3 Mise en danger des libertés

Résumé des interventions des élèves Le thème de la mise en danger des libertés n'a été mis en avant que par l'élève représentant la CNIL. Elle intervient dès le début du débat, juste après que l'élève représentant le CENG se soit déclarée en faveur du développement des nanotechnologies en neurologie. Au cours de cette première prise de parole, elle affirme que les nanotechnologies sont néfastes parce qu'elles permettent de contrôler les gens. En disant cela elle porte dans le débat des éléments du cahier d'acteur de la CNIL, mais ne précise pas ce qui l'amène à s'exprimer ainsi.

Par conséquent, après la série de tours de parole sur les utilisations des nanotechnologies en neurologie, la gestionnaire de débat la relance. L'élève-actrice représentant la CNIL commence alors par préciser un peu ce qu'elle disait lorsqu'elle a affirmé que les nanotechnologies étaient "néfastes" puisqu'elles permettaient de "contrôler les gens". Elle emploie les termes de puces, de contrôle et de problèmes de sécurité. Toutefois, son intervention reste encore assez générale. L'élève mentionne aussi la possibilité d'atteinte au code civil. Dans le cahier de la CNIL, la terminologie de code civil est aussi utilisée mais dans un autre contexte. Elle est

ainsi employée lorsque la CNIL s'interroge sur l'adéquation du droit actuelles aux usages des nouvelles technologies.

Enfin quelques tours de parole plus tard, l'élève représentant la CNIL lève de nouveau la main. Mobilisant des éléments issus de son cahier d'acteur, elle recommande l'instauration de règles pour encadrer les nanotechnologies.

Cette demande de mise en place d'une réglementation est ré-itérée par l'élève un peu plus loin. En effet, plus tard dans le jeu de rôle, l'élève représentant la CFE-CGC déclare qu'il faudrait mettre en place une réglementation pour contraindre les entreprises à prendre des mesures de sécurité. Là, suite à cette intervention, l'élève représentant la CNIL répète qu'il faut instaurer une réglementation sur les utilisations et le contrôle des nanotechnologies. Elle précise que cette législation devrait encadrer sur les utilisations des puces et des technologies pouvant menacer la vie privée. Enfin, la gestionnaire de débat lui demande d'expliquer ce qui l'amène à s'exprimer ainsi. L'élève-actrice représentant la CNIL indique alors que les nanotechnologies peuvent subir des attaques virales. Elle s'inspire ici de la référence aux problèmes de piratage ou de virus évoqués dans le cahier d'acteur de la CNIL. Toutefois l'analyse de son argumentation montre que son raisonnement repose sur une prémisse implicite non valide selon laquelle "établir une réglementation empêchera que les nanotechologies soient infectées par des virus".

Discussion Au travers de ces différentes prises de paroles, l'élève représentant la CNIL soulève ainsi le problème du contrôle permis par la multiplication des objets communicants miniaturisés que développe cette commission dans son cahier d'acteur. Toutefois, lors de ses interventions orales l'élève cherche souvent ses mots, parle bas et ne prend pas le temps de mettre en perspective ses prises de position en expliquant par exemple pourquoi certaines utilisations des nanotechnologies pourraient "contrôler les gens". De ce fait, on peut faire l'hypothèse que le reste de la classe, qui n'a pas eu entre les mains le cahier d'acteur de la CNIL n'a peut-être pas eu les moyens de saisir où cette élève actrice voulait toujours en venir.

Enfin, il est arrivé à plusieurs reprises (lorsque l'élève se présente, qu'elle parle d'infractions au code civil ou qu'elle fait référence à la mise en place de réglementation en réponse aux possibles attaques virales des puces), que l'élève utilise des éléments issus du cahier d'acteur et qu'elle établisse des liens entre ces éléments que la CNIL ne tisse pas. Ceci pourrait être dû aux difficultés d'expression de l'élève à l'oral mais aussi au fait que l'élève n'est peut-être pas très à l'aise avec le raisonnement de la CNIL. N'ayant pas tout à fait saisi ou adhéré à la logique de son argumentation et de ses prises de position, elle en donnerait alors à l'oral un aperçu revisité.

18.4.4 Rapports entre développements technoscientifiques et démocratie

Nous allons maintenant revenir sur la manière dont les élèves ont discuté les deux derniers volets de questionnements que nous avions identifiés lors de notre analyse des controverses. Ici, un certain nombre d'interventions des élèves se sont rapportées globalement à la manière dont le programme de recherche des nanotechnologies était développé en société et nous avons donc eu parfois quelques difficultés à définir s'il était vraiment question pour les élèves d'interroger la manière dont les nanotechnologies sont développées en démocratie ou bien de questionner les interactions entre modèle économique et social et développements technoscientifiques.

Cela a été le cas lorsque l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste a fait plusieurs fois référence au rôle de l'État ou bien à la nécessité d'encadrer les nanotechnologies d'une manière générale. Sans que ces interventions ne questionnent vraiment la manière dont les nanotechnologies peuvent être développées dans une démocratie, nous allons toutefois les examiner et les discuter en même temps que les interventions se rapportant à l'information des citoyens et à la mise en débat des développements des nanotechnologies.

Résumé des interventions des élèves L'élève représentant l'Association Française Transhumaniste fait une première allusion au rôle de régulation de l'État au début du jeu de rôle, après que l'élève représentant la CNIL ait évoqué les problèmes de contrôle des individus. Introduisant dans la discussion une réflexion sur le rôle de l'État qui ne figurait pas dans son cahier d'acteur, l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste met en doute l'idée que l'État serait enclin à décider subitement de contrôler les gens. Elle affiche alors son soutien aux développements des nanotechnologies une fois que des "tests" auraient été faits.

Là, rebondissant sur le terme de "tests", l'élève représentant le CNRS et le CEA prend la parole. Elle souligne l'intérêt du CNRS et du CEA pour *"le côté éthique"* et les *"rapports avec la population"* et met ainsi l'accent sur deux dimensions de ce que le CNRS et le CEA nomment leur "démarche responsable".

Puis, quelques tours de parole plus tard, l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste intervient de nouveau. Elle déclare que si l'on parlait des nanotechnologies sans tabou et que l'on mettait en place une *"vraie loi"*, les nanotechnologies pourraient être une très bonne chose. Elle s'inspire ici d'éléments contenus dans son cahier d'acteur où figure par exemple le terme de tabou. Toutefois, si l'AFT se déclare en faveur de *"contrôles nécessaires lors des recherches",* la mention d'une législation n'intervient dans son cahier que lorsqu'elle s'interroge sur la liberté que doit laisser l'État aux individus de disposer de leur corps. Cette organisation ne semble alors pas franchement appeler à la mise en place d'un encadrement législatif limitant cette liberté.

Enfin l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste évoque aussi les craintes de la population et les scénarios de science-fiction qu'elle semble mettre en rapport avec l'idée de tabou. Elle utilise alors des éléments figurant dans son cahier d'acteur qui n'étaient toutefois pas mis en lien dans ce document. La référence à ces éléments semble par ailleurs déconnectée au reste de son argumentation sur l'importance de développer une loi et de parler des nanotechnologies pour que leur développement puisse *"être une très bonne chose pour notre société".*

Les questionnements relatifs aux rapports entre développements technoscientifiques et démocratie font ensuite leur apparition dans le débat lorsque l'élève représentant le CENG intervient sur les questions d'information de la population. Elle déclare que le CENG a identifié un problème : l'absence d'information de la population. Elle souligne alors l'importance d'informer les gens des avantages et des inconvénients des nanotechnologies puis formule le souhait que soient organisés de réels débats publics et que la population soit au courant des développements des nanotechnologies.

Son intervention est suivie par une prise de parole de l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes. Il critique les mises en débat des développements des nanotechnologies sans toutefois préciser s'il fait référence à celles de la CNDP. Il déclare que ces délibérations sont fictives car elles ne permettent pas de *"réelle réflexion et partage"* et que ces débats semblent être organisés pour faire accepter des *"choses déjà établies".* Il s'inspire ici d'une partie des critiques formulées par la Fondation Sciences Citoyennes à l'encontre du cycle de débats organisé par la CNDP. Cet élève pointe également le peu d'information du public. Il déclare que la population n'est pas apte à formuler des avis constructifs car elle n'est pas à même de comprendre. De son côté, la Fondation Sciences Citoyennes critique aussi l'absence d'information des citoyens, préalable indispensable à une participation effective des citoyens. Cependant, cette association n'écrit nulle part que ceux-ci ne pourraient pas comprendre les questions que suscitent les développements des nanotechnologies.

L'élève représentant l'Association Française Transhumaniste suggère alors de chercher de nouveaux moyens d'information et propose des idées qui ne sont pas mentionnées dans son cahier d'acteur : que l'État organise une campagne d'information ou que des actions soient mises en place dans les écoles.

L'élève représentant le CNRS et le CEA répond à cette remarque en insistant sur les efforts de ces organismes de recherche pour établir un dialogue avec la société. Elle répercute alors une nouvelle facette de "l'approche responsable" du développement des nanotechnologies préconisée par le CNRS et le CEA dans leur cahier d'acteur. Enfin, elle conclut en admettant que peut-être que ces efforts ne sont pas suffisants mais qu'il serait nécessaire de recevoir *"des aides de tout le monde aussi"*. Cette dernière suggestion est apportée par l'élève dans le débat sans qu'elle ne répercute une préconisation précise du CNRS et du CEA.

L'élève représentant la FEBEA se manifeste à cet instant pour faire partager son opinion sur l'information et la mise en débat des nanotechnologies. Faisant écho aux propos de l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes, il estime que les gens ne sont en général pas à même de *"comprendre les risques liés à des choses que même les chercheurs ne maîtrisent pas"*. Il introduit alors dans la discussion un point de vue qui ne figurait pas dans le cahier d'acteur de la FEBEA. Cette organisation ne discute en effet d'information de la population que sous l'angle de la mise en place d'un étiquetage des nano-produits.

Passé ces quelques répliques, l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes réintervient. Il surenchérit sur l'inutilité des débats sur les nanotechnologies puisque selon lui, *"la population qui participe au débat n'est pas à même de vraiment comprendre de quoi il s'agit"* . Là, questionné par la gestionnaire de débat sur les alternatives à ces débats, il ne reprend pas les propositions de la Fondation Sciences Citoyennes sur l'organisation de conférences de citoyens et suggère de faire des efforts de vulgarisation.

Sur ces entrefaites, l'élève représentant l'Académie de Médecine demande la parole. Comme l'élève représentant le CENG, elle recommande d'informer la population *"des avantages comme des inconvénients"* des nanotechnologies. Elle défend alors un point de vue qui n'apparaît pas vraiment dans le cahier d'acteur de l'Académie de Médecine. Dans ce document, il est en effet seulement question d'information des patients et d'information de la population en général par le corps médical en cas de crise sanitaire. Par ailleurs, l'élève-actrice attribue un rôle d'information à l'Académie de Médecine, alors que ceci n'est pas explicité dans le cahier d'acteur de cette société savante. Enfin, s'inspirant du contenu de son cahier d'acteur où il est question de risques sanitaires et environnementaux et des "problèmes éthiques nouveaux" posés par les nanotechnologies, elle explique aussi que l'information du public doit aborder les risques et les questions de "morale" soulevées par les nanotechnologies.

Cette série de tours de parole sur l'information et la mise en débat des nanotechnologies s'achève par une nouvelle intervention de l'élève représentant le CNRS et le CEA. Elle met en avant que les chercheurs ne sont plus aujourd'hui *"la caricature du scientifique"* et que le CNRS et le CEA s'efforcent de mener une réflexion éthique et une réflexion sur le rapport à la société. De nouveau, elle prend appui sur le discours du CNRS et du CEA sur leurs efforts pour développer les nanotechnologies suivant une "approche responsable". La gestionnaire de débat sollicite ensuite l'élève représentant les Amis de la Terre mais il déclare n'avoir pas grand chose à dire sur "la communication" et intervient finalement sur les effets des nanoparticules sur l'environnement.

Enfin, vers la fin du jeu de rôle, le thème de l'information du public revient sur le devant de la scène. L'élève-actrice représentant l'Association Française Transhumaniste déclare ainsi que, lorsque l'organisation qu'elle représente *"passe l'information"*, elle souligne le manque actuel de recul sur les effets des nanoparticules pour la santé ou l'environnement. Elle utilise ici un élément de son cahier d'acteur, où il est écrit que l'on ne sait actuellement pratiquement rien de l'impact des nouveaux nano-produits sur l'homme et l'environnement qu'elle met en perspective avec un rôle d'information qu'elle attribue à l'Association Française Transhumaniste.

Plus tard, l'élève représentant l'INRS s'inspire des propos de cet institut de recherche sur l'incertitude entourant les questions de toxicité pour soutenir un point de vue que l'INRS

n'explicite pas dans le document fourni à la CNDP. Elle affirme ainsi qu'étant donné que les scientifiques n'ont pas eux *"calculé les risques"*, il n'est pas possible *"de le dire au public"*. L'élève représentant le CNRS et le CEA prend enfin la parole. Faisant écho au manque de recul mentionné au cours du débat, elle mentionne le fait que les recherches sont encore en cours pour justifier l'incapacité à *"informer tout le monde"*. Pour leur part, le CNRS et le CEA utilisent, eux, dans leur cahier d'acteur, le vocable de "chantiers en cours". Toutefois, ils n'en tirent pas de conclusion sur les difficultés qui en découleraient pour informer les gens.

Discussion L'examen de toutes ces interventions met en évidence que les élèves acteurs se sont volontiers emparés des problèmes d'information des citoyens. Quatre points nous semblent à souligner à ce sujet.

D'abord l'élève représentant le CENG et l'élève représentant l'Académie ont toutes deux mis l'accent sur l'importance d'informer la population des inconvénients et des avantages des nanotechnologies. Elles proposent ainsi une sorte de grille de lecture binaire des questionnements soulevés par les nanotechnologies. Ce codage binaire peut être mis en perspective avec la prise de position de l'élève représentant le CENG pour les nanotechnologies en raison de leurs "bienfaits". De plus, en opposant ainsi avantages et inconvénients, cette élève-actrice ne reprend pas ici l'idée formulée par le CENG de dépasser les oppositions binaires "pour ou contre les nanotechnologies" pour se placer *"dans le champ et l'espace du politique"* et examiner les logiques d'acteurs.

Ensuite, plusieurs élèves ont déclaré au cours du jeu de rôle que l'information du public était difficile voire impossible. Deux raisons sont alors mises en avant pour justifier ce point de vue. D'abord certains invoquent l'incertitude sur les problèmes de toxicité. Ainsi l'élève représentant la FEBEA souligne que les chercheurs eux-mêmes ne savent pas vraiment ce qu'il en est. L'élève représentant l'INRS rappelle les scientifiques *"n'ont pas calculé les risques"*. Dans le même ordre d'idée, en fin de jeu de rôle, l'élève représentant le CNRS et le CEA rend compte de l'impossibilité d'informer tout le monde puisque les chercheurs en sont encore au stade des recherches. Ces interventions où les élèves expriment des points de vue qui ne figurent pas dans leur cahier d'acteur, donnent ainsi l'impression que pour certains élèves il n'est possible de délivrer une information aux citoyens que lorsque les savoirs sont solidement établis.

La deuxième raison proposée pour rendre compte des difficultés d'information des gens a trait à l'incapacité des gens à comprendre ce qui est au cœur du débat. Deux élèves allèguent cet argument. Le premier à mettre en avant cette impossibilité des gens à "tout comprendre" est l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes. Cette prise de position est d'ailleurs un peu ironique étant donné que la Fondation Sciences Citoyennes travaille à réunir les conditions d'une véritable appropriation citoyenne des choix scientifiques et technologiques. Cet objectif perd en effet tout son sens si l'on part du principe que les citoyens ne peuvent pas comprendre ce dont il est question dans les débats soulevés par les développements des nanotechnologies. Par la suite, l'élève représentant la FEBEA rend compte aussi de l'incapacité des gens à comprendre les débats en soulignant leur *"manque de culture scientifique"*.

Le troisième point sur lequel nous voudrions revenir à propos des questions d'information du public concerne les termes que les élèves emploient. L'élève représentant l'AFT estime qu'il faut "parler" des nanotechnologies, ou "passer l'information". Dans leurs fiches les élèves qui ont étudié le cahier du CENG mentionnent un problème "d'information et de communication". Lorsque l'élève représentant les Amis de la Terre estime qu'il n'a rien à dire sur les questions de mise en débat et d'information, il déclare ne pas avoir d'élément à apporter dans le débat sur "la communication". C'est aussi ce terme qu'utilise l'élève représentant le CNRS et le CEA

au cours du table conclusif. Elle parlait cependant avant de “dialogue avec la population”. Finalement, tous ces termes ne sont pas bien définis et semblent, dans les interventions des élèves, presque interchangeables. Enfin, l’élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes, lui, suggère que soient déployés des efforts de *“vulgarisation”* . Mis en regard avec son point de vue sur l’incapacité des gens à “tout comprendre”, on peut penser que le choix du terme vulgarisation est révélateur. Pour l’élève, l’enjeu ne semble pas être d’outiller les citoyens à participer aux choix scientifiques et technologiques, mais plutôt de donner à un public ignorant un aperçu éventuellement un peu dégradé et simplifié de ce que peuvent être les nanotechnologies.

Enfin sur ces questions d’information du public deux élèves, celle représentant l’Association Française Transhumaniste et celle représentant l’Académie de Médecine attribuent une mission d’information aux organisations qu’elles représentent. Ces deux élèves mettent de plus en avant la prise en compte des questionnements soulevés par les nanotechnologies lorsque ces deux organisations informeraient les gens. L’élève représentant l’Académie de Médecine explique ainsi que cette société savante *“n’oublie pas de préciser les risques ni tout ce que, tout ce qui concerne la morale”.* Pourtant, ici, l’Académie de Médecine ne discourt pas dans son cahier d’acteur sur la manière dont elle informerait le public. De même l’élève-actrice représentant l’Association Française Transhumaniste explique lorsque l’organisation qu’elle représente “passe l’information”, elle souligne le manque actuel de recul sur les effets des nanoparticules pour la santé ou l’environnement. On peut peut-être ici faire l’hypothèse que ces élèves mettent ces éléments en avant parce qu’elles considèrent personnellement, que cette mission d’information est importante et que pour la mener à bien de manière correcte il faudrait apporter les précisions sur les “risques”, la “morale” ou les incertitudes sur l’impact sanitaire et environnemental des nanoparticules.

L’examen de toutes ces interventions met aussi en évidence que deux élèves ont abordé le thème de la mise en débat des développements des nanotechnologies.

Ainsi l’élève représentant le CENG demande la mise en place de “réels débats publics”. Il est toutefois difficile de savoir ce qu’elle cherche à exprimer en employant l’adjectif réel. Opère-t-elle une distinction entre des procédures permettant une véritable participation citoyenne aux décisions et celles se résumant à de simples opérations d’information ou même de communication comme le fait le CENG ? Impossible à dire. Elle n’apporte en effet pas de précisions explicitant ce qu’elle entend ici.

Néanmoins, chacune des références que fait l’élève représentant le CENG à l’intérêt d’une mise en débat des nanotechnologies est immédiatement suivie de considérations sur l’absence d’information de la population à laquelle il faudrait remédier. On peut donc peut-être penser que les mises en débat qu’elle appelle de ses vœux auraient vocation essentiellement à informer la population. Il est toutefois difficile de savoir ce qu’il en est réellement.

L’élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes a discuté lui aussi de mise en débat des développements des nanotechnologies. Il reprend une partie des critiques formulées par cette organisation à propos des débats de la CNDP mais ne précise pas qu’il s’agit de ce cycle de débat national. Il passe aussi sous silence des arguments notés en préparation par son groupe tel que celui affirmant que les délibérations interviennent trop tard puisque les investissements sont déjà engagés.

Par ailleurs, ses prises de position sur l’incapacité des gens à “formuler des avis constructifs parce qu’ils ne comprennent pas tout” et sa suggestion de mettre en place des actions de vulgarisation lorsque la gestionnaire de débat l’interroge sur ce qu’il faudrait faire pour permettre la participation informée des citoyens donnent l’impression que toute mise en débat sur les nanotechnologies serait vaine.

En ce sens, son intervention dans le jeu de rôle nous semble avoir donné une vision déformée

du contenu du cahier d'acteur de la Fondation Sciences Citoyennes.

Enfin, ce tour d'horizon des interventions des élèves montre que représentant l'Association Française Transhumanistes met en avant plusieurs fois le rôle de l'État. Elle nous semble alors afficher une sorte de confiance un peu naïve en cette autorité. De plus, ses interventions ne cadrent pas très bien avec la seule référence explicite de l'Association Française Transhumaniste au rôle de l'État dans son cahier, sur le contrôle et la limitation des modifications apportées au corps des individus. On peut peut-être ici faire l'hypothèse que cette élève a surinterprété le contenu du document qu'elle avait entre les mains ou bien qu'elle n'a pas tenu compte des consignes et apporté dans le débat des opinions personnelles.

18.4.5 Interactions entre enjeux économiques et sociaux, et développements technoscientifiques

Résumé des intervention des élèves Nous en venons à présent au dernier ensemble de questionnements, portant sur les interactions entre enjeux économiques et sociaux et développements technoscientifiques.

La première à intervenir sur ces questions est l'élève représentant le CNRS et le CEA qui mobilise le contenu de son cahier d'acteur pour mettre en avant les perspectives économiques et les emplois que ces développements pourraient générer. Elle mentionne de plus les applications des nanotechnologies dans le domaine des énergies ou de la médecine.

Plus tard, certains élèves discutent aussi de l'utilité de certaines applications et de priorités dans les développements des nanotechnologies. L'élève représentant l'Association Française Transhumaniste, dans une intervention un peu confuse, déclare que *"la médecine va sans doute développer les nanotechnologies dans tous les domaines"*. Présentant cela comme problématique, elle estime alors que les nanotechnologies ne sont pas essentielles puisque l'humanité n'est pas vraiment menacée. Il faut donc, selon elle, se focaliser sur les *"impératifs"* (par exemple sur les maladies graves) plutôt que sur des utilisations secondaires à ses yeux, comme les crèmes solaires.

Cette intervention de l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste fait réagir l'élève représentant le CNRS et le CEA. Cette élève insiste sur l'utilité des applications des nanotechnologies dans le domaine de l'énergie. Elle utilise ici des éléments relevés par elle et son groupe en préparation qui avaient noté que les questions d'énergie et d'épuisement des ressources constituaient des *"sujets d'actualité et d'intérêt commun"*.

L'élève représentant l'Association Française Transhumaniste reprend alors la parole. Elle met l'accent de nouveau sur l'importance de développer les nanotechnologies en se concentrant sur *"les problèmes essentiels"* et en *"ralentissant un petit peu"*. Pour étayer sa prise de position, elle propose un exemple dont l'Association Française Transhumaniste ne dit rien dans son cahier d'acteur. Elle revient ainsi sur l'usage de certains médicaments contre l'eczéma dans les années 80, qui auraient provoqué le développement de cancers parce que, lors de leur mise au point, on ne se serait pas *"focalisé sur les problèmes essentiels"*.

Enfin, sollicité par la gestionnaire de débat, l'élève représentant la CFE-CGC intervient à son tour dans le débat. Répercutant une prise de position du syndicat qu'il représente, il déclare souhaiter que des fonds plus importants soient accordés à la recherche en toxicologie.

Plus tard dans le jeu de rôle, il est de nouveau question de l'utilité de certaines applications des nanotechnologies et de l'attribution de fonds pour leur développement.

L'élève représentant l'Association Française Transhumaniste revient ainsi d'abord sur deux exemples de réalisations issues des nanotechnologies et mentionnées par l'Association Française Transhumaniste : celui des projets de dépollution des hydrocarbures et celui de la gelée

grise autorépliquante. L'élève établit alors un lien entre ces deux exemples qui n'apparaît pas dans le cahier d'acteur. Elle explique en effet que l'Association Française Transhumaniste jugerait utile de développer des travaux sur les hydrocarbures, mais que le manque de recul laisse craindre un scénario catastrophiste type gelée grise.

Cette élève insiste alors sur l'intérêt d'accorder une attention particulière à *"l'écologie"* à un moment où, selon elle, on serait plus avancé dans le domaine de la *"science humaine"* que de l'écologie. Cet accent marqué sur les préoccupations environnementales se retrouve aussi dans les fiches qu'elle et son groupe ont remplies en amont du jeu de rôle.

Enfin, s'appuyant sur le contenu de son cahier d'acteur, l'élève représentant le CNRS et le CEA lui répond en donnant des exemples de recherches menées dans le domaine de l'énergie. Elle concède à l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste que ces travaux prennent peut-être plus de temps que ceux en médecine mais ajoute qu'avec "*plus de subventions et plus de laboratoires... enfin ça se pourrait que ce soit plus rapide."* Ces derniers propos sont extrapolés à partir du contenu du cahier d'acteur du CNRS et du CEA où il n'est question d'allocation de subvention que lorsque le CNRS et le CEA rappellent "la politique volontariste" engagée depuis 10 ans par l'État et les collectivités.

Discussion Finalement ce résumé des interventions des élèves montre que les enjeux économiques de ces développements ont seulement été évoqués rapidement par l'élève représentant le CNRS et le CEA. Elle a alors mis en avant les perspectives d'emploi et les possibilités de rebond de l'économie.

Toutes les autres prises de parole inventoriées ici se sont rapportées à l'utilité de certaines applications des nanotechnologies ou aux priorités à accorder lors de leurs développements. Sur ces thèmes, ce sont notamment l'élève représentant le CNRS et le CEA et celle représentant l'Association Française Transhumaniste qui sont intervenues. Elles ont toutes les deux mis en avant plusieurs fois l'intérêt des développements des nanotechnologies pour l'environnement et les travaux sur les énergies. On peut donc s'interroger sur les raisons de cette insistance sur ces thématiques.

L'élève représentant le CNRS et le CEA singularise ce thème de même que celui des applications en médecine qui figuraient parmi les 5 directions de recherches inventoriées dans le cahier d'acteur de ces organismes de recherche. Cet accent n'est peut-être pas un hasard. Elle et son groupe avaient noté en préparation que les énergies et l'épuisement des ressources constituaient de plus des *"sujets d'actualité et d'intérêt commun"*. Puisque beaucoup des interventions de l'élève-actrice présentent les activités du CNRS et du CEA sous un jour flatteur (approche responsable, intérêt pour notre économie), le choix de mettre l'accent sur cette thématique est peut-être dû à une stratégie de communication qui met l'accent sur ce qui entrera en résonance avec les préoccupations de ses camarades.

Quant à l'élève représentant l'Association Française Transhumaniste, la pré-éminence qu'elle accorde aux "questions d'écologie" s'appuie sur des aspects qui nous semblent un peu mineurs dans son cahier d'acteur. Ainsi, cette élève s'inspire de l'exemple présent dans le cahier sur les technologies de dépollution des hydrocarbures pour souligner l'importance d'accroître l'effort de recherche sur "l'écologie". Elle fait même passer "l'écologie" pour prioritaire aux yeux de l'Association Française Transhumaniste, devant le développement des nanotechnologies "pour la science humaine". L'élève propose donc une sorte d'aperçu en anamorphose de son cahier d'acteur hypertrophiant les préoccupations environnementales et mettant en sourdine le discours et les interrogations de l'Association Française Transhumaniste sur l'utilisation de nano-implants pour améliorer les capacités humaines. Ceci est peut-être dû au fait que l'élève-actrice n'a porté à l'oral que les thèses avec lesquelles elle se sentait en accord. Elle a ainsi peut-être modifié le discours de l'Association Française Transhumaniste pour le rendre plus conforme à sa vision des choses. Un autre élément nous semble d'ailleurs plaider en ce sens. Il s'agit de l'exemple sur l'utilisation de médicaments pour l'eczéma que l'élève mobilise

pour expliquer qu'il faut se focaliser *"sur les choses essentielles"*. Ici elle tire cet exemple de ses connaissances personnelles et non du cahier d'acteur. Elle va donc chercher, pour défendre les thèses qui sont censées être celles de l'Association Française Transhumaniste, des arguments purement de son fait, comme si la défense de ces positions nécessitait qu'elle s'y implique personnellement.

Enfin, plusieurs questionnements interrogeant les interactions entre développements technoscientifiques et enjeux économiques et sociaux ont été passés sous silence. Les discussions sur les questions de propriété intellectuelle, sur les interactions entre recherche publique et monde de l'entreprise n'ont ainsi pas été répercutées dans le jeu de rôle. Il en va de même pour la dénonciation du "technoscientisme" ambiant inscrite dans le cahier des Amis de la Terre.

On peut donc s'interroger. Ces thèmes posent-ils plus de difficultés aux élèves ? Peut-être leur sont-ils moins familiers ? Peut-être les ont-ils passés au second plan pour mieux s'emparer et discuter des thématiques avec lesquelles ils se sentaient plus à l'aise ou pour lesquelles ils portaient plus d'intérêt ?

Quoi qu'il en soit, l'occultation de plusieurs objets de préoccupation dans le jeu de rôle donne un aperçu laissant dans l'ombre plusieurs questionnements que l'auditoire n'a donc aucune chance de saisir. De ce fait, notre objectif qui était de permettre aux élèves d'avoir en un temps court un panorama des différentes interrogations discutées dans les débats soulevés par les nanotechnologies n'a pas été totalement rempli au cours de cette première mise en œuvre du jeu de rôle.

18.4.6 Quelle mise à distance des discours présentés dans les cahiers d'acteur ?

Pour terminer cette analyse du jeu de rôle, nous voudrions maintenant revenir sur la mise à distance par les élèves des prises de position et des arguments qui leur ont été présentés dans les cahiers d'acteur.

Étant donné que dans le jeu de rôle, les élèves sont censés restituer les points de vue et l'argumentaire de l'acteur dont ils ont étudié le document, les élèves ne s'expriment pas a priori en leur nom propre. Par conséquent, les indices de mise à distance ne sont pas très nombreux dans cette partie de l'activité. Toutefois, nous allons tout de même revenir ici sur trois choses : la manière dont les élèves-acteurs ont présenté les organisations qu'ils représentaient ; les éléments apportés par certains élèves dans le jeu de rôle qui ne figuraient pas dans leur cahier d'acteur ; et enfin, les paralogismes que nous avons repérés dans certaines prises de parole au cours du jeu de rôle.

Nous avons vu que lors de la présentation des missions de l'acteur qu'ils représentaient, plusieurs acteurs opéraient une sorte de "réduction" du rôle que l'acteur revendiquait. Ainsi, l'élève-actrice représentant l'Association Française Transhumaniste n'a pas parlé de promotion des *"technologies susceptibles d'améliorer et de prolonger la vie des individus et de l'espèce humaine"*. De même, l'élève-acteur représentant les Amis de la Terre n'a pas répercuté l'idée que cette association souhaitait *"œuvrer à la protection de l'homme et de l'environnement"* et à *"la promotion des sociétés soutenables"*.

En outre, des élèves-acteurs ont attribué aux organisations qu'ils représentaient des missions non mentionnées dans les cahiers d'acteur. L'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes a ainsi estimé que cette association travaillait à *"vulgariser les sciences"* et l'élève représentant la CNIL que cette commission avait comme objectif le *" contrôle des informations"*.

On peut aussi se poser la question suivante : les élèves-acteurs qui se sont présentés en modifiant ou en ne donnant à voir qu'une partie des missions de l'organisation qu'ils représentaient, avaient-ils bien cerné le rôle de l'auteur du document qu'ils étudiaient ? Si tel n'a pas été le cas [1], l'éventuelle mise à distance du contenu du cahier d'acteur a dû être beaucoup plus délicate.

Par ailleurs, nous avons aussi souligné lors de notre passage en revue du contenu des interventions des élèves, que certains portaient un discours différent de celui proposé par l'organisation qu'ils représentaient. Cela a été par exemple le cas lors de certaines prises de parole des élèves représentant le CENG, de l'élève représentant l'INRS, de l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes ou encore de l'élève représentant l'Association Française Transhumainste. Ces apports d'éléments absents du cahier d'acteur nous interrogent : s'agit-il de problèmes de compréhension du document qui leur a été mis entre les mains ? S'agit-il de problèmes de compréhension des consignes cadrant le jeu de rôle ? Ou bien ces écarts par rapport à la ligne du cahier d'acteur sont-ils dûs une difficulté à prendre compte ou à porter à l'oral des points de vue différents des leurs ?

Enfin, l'étude de l'argumentation des élèves a montré que certains enchaînements argumentatifs recelaient des paralogismes. Parmi eux, il y a eu des prémisses dont la validité logique ne nous semble pas évidente. Nous avons aussi repéré à deux occasions des sophismes de type *"ignoratio elenchi"*. Il nous semble toutefois difficile d'en tirer des conclusions sur la mise à distance par les élèves des discours présents dans leurs cahiers d'acteur. En revanche, certains paralogismes nous semblent relever de manœuvres oratoires visant à protéger une prise de position d'une remise en cause critique. L'élève représentant la FEBEA a ainsi eu recours à une stratégie d'immunisation, lorsque la discussion traitait de la toxicité du dioxyde de titane.

De même au début du jeu de rôle, alors que la discussion portait sur les applications des nanotechnologies en médecine, l'élève représentant le CENG a eu recours au registre pathétique puis à une stratégie d'immunisation pour clore le débat. L'usage de ces deux paralogismes nous semble avoir été ici une façon d'évacuer les critiques. Ces deux paralogismes nous paraissent enfin avoir entravé la prise de distance par rapport aux prises de positions discutées.

Finalement, s'il n'en reste pas moins difficile de jauger la prise de distance des élèves vis-à-vis des discours des différents acteurs lors de ce jeu de rôle, ces différents indices nous laissent penser que certains obstacles ont entravé la prise de recul par rapport au contenu des documents qu'ils avaient entre les mains.

1. Ce qu'il n'est bien sûr pas possible de trancher

Chapitre 19

Analyse des fiches remplies par les élèves après le jeu de rôle (Grenoble)

Avant d'analyser la discussion qui a conclu la séance nous voudrions nous arrêter brièvement sur le contenu des fiches que les élèves ont remplies juste après le jeu de rôle.

Sur ces fiches, il leur était demandé deux choses :

- D'abord d'éventuellement réviser le classement par ordre d'importance des thèmes identifiés leur cahier d'acteur, tout en justifiant leurs modifications.
- Ensuite il leur était demandé de résumer la prise de position et l'argument de l'acteur dont ils avaient étudié le cahier qui leur semblaient, à eux, les plus importants.

Nous allons revenir ici sur la manière dont les différents groupes ont répondu à ces deux consignes. Comme pour le jeu de rôle, nous examinons ces réponses en ayant à l'esprit la question qui nous préoccupe au travers de ce travail d'analyse :

"Comment les élèves comprennent et mettent à distance les discours sur les nanosciences et les nanotechnologies portés par différents acteurs intéressés par ces développements ?"

Plusieurs thèmes se dégagent et se répètent dans les réponses que les élèves ont donné sur leurs fiches. Nous allons aussi procéder à une analyse thématique du contenu de ces courts écrits produits par les élèves.

19.1 Examen thématique des fiches remplies par les élèves après le jeu de rôle

19.1.1 Protection de l'environnement

Trois groupes d'élèves font ressortir les préoccupations environnementales dans leurs fiches remplies immédiatement après le jeu de rôle : le groupe ayant étudié le cahier d'acteur des Amis de la Terre, le groupe ayant travaillé le cahier de la FEBEA et enfin, le groupe qui a analysé le cahier d'acteur de l'Association Française Transhumaniste.

D'abord les élèves qui ont travaillé sur le document des Amis de la Terre expliquent qu'ils ont modifié leur classement des thèmes abordés par cette association. Avant le jeu de rôle, ils avaient repéré 4 thèmes :

> "- *economique*
> - *sanitaire*
> - *environnemental*
> - *social*"

Il n'en avaient ensuite classé que deux, et écrivaient :

"Nous avons décider de mettre en 1 le thème concernant les sanitaires car c'est celui que développe le + l'acteur, c'est le + long. C'est aussi celui qui nous concerne tous et c'est pour cela que l'auteur le développe bcp.

Ensuite, en 2, vient l'environnement car c'est un thème très prèsent dans les débats en ce moment et qui préoccupe tout le monde".

Suite au jeu de rôle, les élèves ont alors révisé ce classement et expliquent leur modification.

Nous changeons l'ordre de notre classement : le pb de l'environnement devient plus important par rapport aux pbs sanitaires. Les raisons de notre choix :

- De nbreuses mesures semblent être prises en compte pour la santé public

- L'environnement est laissé de côté.

Le groupe qui a travaillé la FEBEA mentionne aussi les problèmes environnementaux dans sa fiche remplie au sortir du jeu de rôle. Eux aussi, d'ailleurs, ont modifié le classement des thèmes qu'ils avaient établis en préparation de la discussion.

Avant le jeu de rôle, ils avaient relevé trois thèmes hiérarchisés dans l'ordre suivant :

1) Efficacité plus grande du TiO_2 sous forme nano que sous forme macro

2) Les nano-formulations (groupement de nano-capsules et de nano-émulsions) se désagrègent au contact de la peau et liberent le produit contenu

3) nano-émulsions contenues dans des nano-capsules ⇒ permet de contenir des huiles sans donner une texture grasse au produit.

Ils expliquaient alors ce classement en écrivant :

– Pour justifier leur premier choix :

la santé est quelque chose d'important.

– et leur second choix :

Diminution des risques pour l'environnement. Raisons économiques

Passé le jeu de rôle, les élèves ont revu ce classement. Le nouvel ordre qu'ils proposent inverse les thèmes 1 et 2 :

1) Les nano-formulations (groupement de nano-capsules et de nano-émulsions) se désagrègent au contact de la peau et liberent le produit contenu

2) Efficacité plus grande du TiO_2 sous forme nano que sous forme macro

3) nano-émulsions contenues dans des nano-capsules ⇒ permet de contenir des huiles sans donner une texture grasse au produit.

Ils ne se sont par contre pas appesantis à expliquer cette modification et ont seulement indiqué :

Cela permet de protéger l'environnement des effet des nano-particules donc il est le plus important.

Enfin, les élèves qui ont analysé le cahier d'acteur de l'Association Française Transhumaniste, ont aussi placé les préoccupations environnementales en première position, lorsqu'ils ont classé les thèmes abordés dans leur cahier d'acteur.

Ils les avaient d'ailleurs déjà positionnées au rang 1 en préparation du jeu de rôle. Ainsi avant le jeu de rôle, ils avaient proposé l'ordre :

1) - devellopement des nano concernant la nature

↓

transformation nature au niveau moleculaire ou aThibaultique

↓

projet de dépolution

2) - dévellopement des nano concernant l'Humain : la nanomédecine

↓

nanorobots
nanocapsules
nano augmentation
nano implant

Ils expliquaient ce classement en écrivant :

> *"L'homme ∈ Nature, si la Nature va bien, l'Homme ne peut aller que mieu.*
> *→ Nature englobe + de chose que l'Homme"*

mais aussi

> *"C'est important d'avoir une planète en bonne santé"*
> *"C'est important d'avoir une humanité en bonne santé. Recherche de progrès (maladies graves...)"*

Suite au jeu de rôle, les élèves qui ont étudié le cahier d'acteur de l'Association Française Transhumaniste ne reviennent pas sur ce classement et écrivent :

> *On conserve le classement car Nature tj + importante que l'Homme, cependant, devant le débat, on a beaucoup plus parlé de l'Humanité que pendant l'environnement.* [1]

Ils résument ainsi la prise de position qui leur semble la plus importante :

> *Continuer à dévelloper les nanotechnologie ds ce secteur mais sans urgence.*

Raisons de ce choix :

> *Car nano. peuvent être très utiles mais des risques sont envisageables.*

L'examen de ces écrits permet de mettre en évidence deux choses. D'abord, les élèves qui ont étudié le cahier de l'Association Française Transhumaniste, comme ceux qui étaient en charge du document des Amis de la Terre expriment leur impression que les préoccupations environnementales sont passées au second plan, éclipsées par les discussions sur la santé humaine. Cela semble contribuer à leur volonté de remettre l'accent sur les questions d'environnement, selon eux, un peu délaissées dans les débats.

Ensuite, sur ces trois groupes d'élèves, ceux qui ont étudié le cahier de la FEBEA et ceux qui ont travaillé celui de l'Association Française Transhumaniste, semblent attacher, personnellement, une importance particulière aux questions d'environnement. Ces deux cahiers d'acteur ne traitent en effet que de manière un peu marginale de ces questions mais les élèves les ont classés en première position. Cette primauté accordée à l'environnement, ressort en particulier dans ce qu'ont noté les élèves étudiant le document de l'Association Française Transhumaniste qui écrivent : *"Nature tj + importante que l'Homme".*

Les élèves qui ont étudié le cahier d'acteur de l'Association Française Transhumaniste, s'ils mettent l'accent sur les problèmes environnementaux soulignent aussi dans leurs fiches l'utilité des nanotechnologies. C'est d'ailleurs l'un des aspects qu'ils font ressortir, lorsqu'ils doivent désigner quel est l'aspect qui leur semble le plus important dans leur cahier d'acteur.

19.1.2 L'utilité des nanotechnologies en particulier dans le domaine de la santé

Outre les élèves qui ont analysé le cahier de l'Association Française Transhumaniste, ceux qui ont étudié le point de vue de l'Académie de Médecine et les élèves qui ont travaillé sur le document du CENG ont, juste après le jeu de rôle, insisté dans leurs fiches sur l'utilité des nanotechnologies dans le domaine de la santé.

Les élèves qui ont étudié le document de l'Académie de Médecine écrivent ainsi :

1. Ça n'est pas une faute de frappe...

Le débat n'a pas changé le classement des aspects auxquels on s'est intéressé. En effet, la santé [et donc d'une part, le développement des nanotechnologies qui permettent les progrès en médecine, et d'autre part, la prévention des risques liés à l'homme,] reste l'aspect le plus important.

Malgré les risques environnementaux et le problème d'éthique que posent le développement des nanosciences, il est indispensable de faire progresser le domaine de la médecine.

Ils résument ainsi la prise de position qui leur semble la plus importante dans ce cahier d'acteur :

Progrès de la médecine, les nanotechnologies permettent ainsi de mieux diagnostiquer les patients et donc de mieux les traiter.

Quant aux élèves qui ont étudié le cahier d'acteur du CENG, ils écrivent aussi que le jeu de rôle ne les a pas conduites à modifier leur classement des thèmes abordés dans ce document :

Nous conservons le même ordre
1) manque de communication / vulgarisation des nanotechnologies
2) bienfaits des nanotechnologies (neurologie)

Après le débat, nous nous sommes rendu compte que certains organismes sont d'accord avec nos idées.

Les bienfaits étant plus controversés nous les laissons en 2ème position.

Puis, suite à ce classement, elles résument la prise de position qui leur semble la plus importante, en écrivant :

bienfaits des nanotechnologies en neurologie pour les maladies dégénératrices

Raison de ce choix :

→ *aspect le plus important (la guérison est plus importante que l'information)*
→ *malgré les problèmes de communication les effets restent bénéfiques.*

Ces trois groupes d'élèves soulignent donc chacun, en des termes qui leurs sont propres, l'importance que revêt à leurs yeux les perspectives ouvertes par les nanotechnologies notamment dans le domaine de la médecine. Deux groupes sur trois (ceux qui ont étudié le cahier de l'Association Française Transhumaniste et ceux qui traitaient du document de l'Académie de Médecine) emploient à cet endroit le terme de progrès. Les élèves qui travaillaient sur le cahier de l'Association Française Transhumaniste et du CENG donnent aussi les exemples de "maladies graves" ou des "maladies dégénératrices". Enfin, les élèves qui ont eu entre les mains le cahier du CENG et qui parlent des "bienfaits" des nanotechnologies en neurologie indiquent que ces "bienfaits" leur ont semblé controversés au cours du débat. Cela n'a toutefois pas modifié leur point de vue à leur égard.

Lorsque les élèves ayant étudié le cahier l'AFT justifient leur positionnement en faveur d'un développement des nanotechnologies sans urgence, ils citent l'utilité des nanotechnologies. Ils nuancent cependant leur propos en indiquant que *"des risques sont envisageables"*. De leur côté, les élèves qui ont planché sur le cahier de l'Académie de Médecine mentionnent dans leur classement des thèmes *"la prévention des risques liés à l'homme"*.

Plusieurs groupes d'élèves reviennent ainsi, dans leurs fiches remplies juste après le jeu de rôle, sur les problèmes de toxicologie.

19.1.3 Toxicité et incertitude

Outre les groupes que nous avons déjà cités, le groupe qui a travaillé sur le cahier de la CFE-CGC et ceux qui ont étudié la contribution de l'INRS et celle de la Fondation Sciences Citoyennes reviennent sur les questions de toxicité des nanoparticules.

Le groupe qui s'est occupé du cahier d'acteur de l'INRS a ainsi écrit :

1. Santé
2. Sécurité
nous n'avons pas changé car le plus important est toujours tout ce qui concerne la santé et on n'a pas parlé[2] *du côté sécuritaire.*

Par ailleurs, ces élèves résument la prise de position de l'INRS qui leur semble être, la plus importante en écrivant :

Il faut être sur des risques et ne pas mettre en place quelque chose de nocif pour la santé
Raisons de ce choix :
cela résume le côté sanitaire et l'étude des risques. C'est le but principal de notre organisat°.

Pour leur part, les élèves qui ont analysé le cahier de la CFE-CGC ont écrit sur leur fiche remplie au terme du jeu de rôle :

Ce qui est le plus important pour un syndicat, est de défendre ses salariés concernant la santé au contact des nanotechnologies

Ils synthétisent ensuite la prise de position de la CFE-CGC qui leur paraît la plus importante :

Ce que notre acteur a dit de plus important est l'investissement qu'il faudrait en toxicologie et les réglementations peu existantes
Raisons de ce choix :
Pour la protection de la santé des salariés

Ces deux groupes d'élèves mettent donc en avant les problèmes sanitaires en les mettant en perspective avec les missions de l'organisation qu'ils représentent. Enfin, les élèves représentant la Fondation Sciences Citoyennes mettent eux l'accent sur l'incertitude entourant les effets des nanoparticules. Ils écrivent ainsi, lorsqu'il leur est demandé quelle prise de position de la Fondation Sciences Citoyennes leur paraît la plus importante :

Nous gardons la même position, parce même si ces nano comportent des avantages, le recul scientifique, sanitaire et même éthique n'est pas encore suffisant. L'utilisation actuelle de ces technologies est trop importante pour le recul que nous en avons. Et pas assez d'encadrement.

Ils n'explicitent par contre pas cette "position". On peut peut-être supposer qu'ils partagent la position qu'ils ont classé en 1, là où on leur demandaient de classer les thèmes du cahier d'acteur. Ils ont en effet conservé le même classement des thèmes qu'ils avaient proposé avant le jeu de rôle :

1- L'état organise un débat ne permettant pas réélement d'evaluer l'avis de la pop. celle-ci n'etant pas informer. ne peut pas formuler d'avis constructif
2- pour cet acteur les aspects important sont le manque d'information concernant la toxicité des nano
3- et leurs conséquences pour l'environnement.

Ils justifient par ailleurs la conservation de ce classement en expliquant :

On a conservé notre classement car les idées des autres n'ont fait que renforcer notre prise de position (mis apart l'aspect qui pourrait sauver des vies, et l'interrêt écologique). Mais cependant, nous n'avons pas encore les connaissances necessaires pour l'utilisation que nous en faisons.

Les élèves mettent donc l'accent dans leur justification sur l'incertitude et l'absence de connaissances sur les effets des nanoparticules. Il est possible que cette situation d'incertitude ait motivé le classement en 1 de la critique des débats. Il est toutefois difficile de trancher en l'absence de précisions sur ce que les élèves veulent dire en écrivant *"Nous gardons la même position"*.

2. *Ce mot est difficile à déchiffrer et je ne suis pas sûre de mon coup.*

19.1.4 Réglementation

Au moment où il leur est demandé de résumer le point de vue qui leur semble le plus important de leur cahier, tout en expliquant ce qui le singularise à leurs yeux, les élèves étudiant le cahier d'acteur de la Fondation Sciences Citoyennes et ceux travaillant sur le document de la CFE-CGC mettent le doigt sur le problème de l'encadrement réglementaire des nanotechnologies.

Les élèves qui ont travaillé sur le cahier de la Fondation Sciences Citoyennes écrivent à propos des questions de réglementation :

> *pas assez d'encadrement.*

Ceux qui ont étudié le cahier de la CFE-CGC parlent des :

> *réglementations peu existantes*

De même, les élèves qui ont analysé le cahier d'acteur de la CNIL citent les problèmes d'encadrement des nanotechnologies. Elles résument ainsi la prise de position de cette autorité administrative qui leur semble la plus importante :

> *À trop utiliser les nanos-technologies sans lois et sans informations supplémentaire. On peut rapidement ne plus rien maîtriser.*
>
> Raisons de ce choix :
>
> *Après le débat, nous avons put constater que les nano-technologies sont de partout (ex : cosmétiques, crème solaire...). Il est donc très important de les maîtriser, en faisant des lois ou en les vulgarisant. Leur développement doit être plus progressif. Plus il y en a, plus les gens seront "surveillés" et les libertés seront menacées.*

Les élèves qui ont travaillé sur le cahier de la CNIL soulignent ici les problèmes de perte de maîtrise et également de mise en danger des libertés. Comme ceux qui ont étudié le cahier de l'Association Française Transhumaniste qui parlaient d'un développement des nanotechnologies *"sans urgence"*, elles indiquent que ces développements doivent être progressifs. Enfin l'encadrement législatif qu'elles suggèrent d'instaurer, permettrait selon elles de maîtriser les utilisations des nanotechnologies. À ce propos, elles proposent aussi de vulgariser les nanotechnologies pour contribuer à leur contrôle.

Cet accent sur la mise en place d'actions de vulgarisation, d'information ou de communication se retrouve aussi sur les fiches remplies par d'autres groupes d'élèves.

19.1.5 Communication, vulgarisation et prise en compte de l'avis de la population

Les élèves qui ont eu entre les mains le cahier d'acteur du CENG indiquaient en faisant référence au contenu de leur cahier, à des *"problèmes de communication"* ou de *"vulgarisation"* des nanotechnologies. Elles écrivaient cependant que selon elles,

> *malgré les problèmes de communication les effets restent bénéfiques.*

De leur côté, les élèves qui ont étudié le document de la CNIL parlent, de vulgariser les nanotechnologies pour participer à leur maîtrise.

Enfin, le groupe à qui a échu le cahier d'acteur du CNRS et du CEA suggère aussi, au terme du jeu de rôle, de mettre un accent plus prononcé sur les problèmes de communication car, selon elles, les nanotechnologies concernent tout le monde. Les élèves de ce groupe écrivent ainsi :

> *Après ce débat, la question de l'éthique devrait être beaucoup plus étudiée. Et les recherches devraient dépendre de l'avis de la population.*
>
> *Et l'information de l'avancement des recherches doit être communiquée régulièrement et vulgarisée pour que tout le monde puisse comprendre.*

Elles résument aussi les points de vue de ces organismes de recherche qui leur semblent les plus importants :

> *Insister sur l'étique des recherches "nano"*
> *par exemple en augmentant la communication avec la population*
> Raisons de ce choix :
> *Car les "nano" concernent tout le monde scientifiques comme utilisateurs et il est important que ce domaine avance grâce aux avis de la population.*

Les élèves qui ont étudié le cahier du CNRS et du CEA soulignent donc l'importance d'améliorer la "communication avec la population". Elles emploient le terme de vulgariser et mettent en perspective cette importance d'informer la population avec l'idée que les orientations de recherche devraient dépendre de l'avis de la population.

Enfin, ces élèves demandent aussi d'insister sur *"l'étique des nano"*. Le terme d'éthique figure ainsi dans plusieurs fiches remplies par les élèves.

19.1.6 Problèmes éthiques

Comme le montre l'extrait que nous avons cité au paragraphe précédent, les élèves qui ont travaillé sur le cahier d'acteur du CNRS et du CEA estiment que l'insistance sur l'éthique des recherches "nano" est un point important. Difficile de savoir exactement la signification qu'elles donnent à ce terme. Elles semblent inclure dans les problèmes éthiques les questions d'information des citoyens.

D'autres groupes emploient également ce mot. Ainsi les élèves qui ont analysé le cahier d'acteur de la Fondation Sciences Citoyennes mentionnent un manque de recul "éthique" lorsqu'ils explicitent le point de vue de la Fondation Sciences Citoyennes qui leur semble le plus important.

> *Nous gardons la même position, parce même si ces nano comportent des avantages, le recul scientifique, sanitaire et même éthique n'est pas encore suffisant. L'utilisation actuelle de ces technologies est trop importante pour le recul que nous en avons. Et pas assez d'encadrement.*

Les élèves qui ont étudié le document de l'Académie de Médecine utilisent aussi le terme d'éthique lorsqu'ils hiérarchisent les thèmes du cahier d'acteur :

> *Malgré les risques environnementaux et le problème d'éthique que posent le développement des nanosciences, il est indispensable de faire progresser le domaine de la médecine.*

Ainsi par trois fois, des groupes font référence à des problèmes éthiques sans donner de précision sur ce qu'ils entendent par sous cette expression.

19.2 Discussion

Nous voudrions à présent discuter le contenu de ces fiches remplies par les élèves à la lumière de ce qui a été mis en avant au cours du jeu de rôle.

La première chose que nous souhaiterions pointer, c'est l'importance renouvelée qu'accordent plusieurs groupes d'élèves à l'utilité des nanotechnologies. Comme dans le jeu de rôle les deux domaines d'applications phares que les élèves mettent en avant sont la santé et l'environnement.

Ainsi par exemple, les élèves qui ont travaillé sur le cahier d'acteur de l'Association Française Transhumaniste ré-insistent sur l'utilité des nanotechnologies pour l'environnement. Ils "entérinent" le discours que l'élève représentant cette organisation avait porté à l'oral, en déChloént que les développements des nanotechnologies sur la "science humaine" étaient déjà avancés et qu'il fallait donc ne pas négliger l'écologie.

Les élèves qui ont étudié le cahier de l'Académie de Médecine soulignent aussi de nouveau les perspectives ouvertes pour la santé.

Les élèves qui ont travaillé sur le document du CENG parlent, pour leur part, encore une fois de "bienfaits des nanotechnologies pour la neurologie". Ces élèves écrivent par ailleurs :

> *Après le débat, nous nous sommes rendu compte que certains organismes sont d'accord avec nos idées.*

L'utilisation du pronom possessif "nos idées" n'est d'ailleurs peut-être pas anodine. L'élève-actrice qui a représenté le CENG dans le jeu de rôle a en effet soutenu plusieurs points de vue absents du cahier d'acteur qu'elle avait étudié. L'emploi du possessif nos idées, nous laisse penser que les prises de positions que cette élève a défendu dans le débat étaient donc sans doute les siennes. Ainsi, au lieu de porter des opinions étrangères à ses convictions, elle aurait modifié le discours du CENG pour le rendre plus conforme à ce qu'elle pensait.

Les élèves qui ont étudié le cahier d'acteur du CENG parlent aussi après le jeu de rôle de "problèmes de communication". Cela nous amène au deuxième point que nous souhaiterions discuter.

Au cours du jeu de rôle, nous avions relevé que plusieurs élèves-acteurs avaient discuté du manque d'information de la population. Dans les fiches remplies par les élèves après le jeu de rôle, on retrouve cette importance accordée à l'information du public. Par ailleurs, nous avions souligné la multiplicité des termes employés pour traiter de ce thème dans le jeu de rôle. Ainsi les expressions de dialogue, de communication, d'information, d'être au courant, de parler des nanotechnologies ou de vulgarisation avaient alors été prononcées. Ici c'est le terme de "communication" qui revient dans les écrits des élèves ayant travaillé sur les cahiers du CENG et du CNRS et du CEA.

Enfin plusieurs thèmes qui avaient été un peu éclipsés ou mis au second plan dans le jeu de rôle sont ici absents des fiches remplies par les élèves. On ne peut ainsi rien lire sur les enjeux économiques du développement des nanotechnologies. De même les discussions sur les utilisations en médecine se résument à un acquiescement des élèves face aux perspectives d'applications des nanotechnologies.

Finalement, dans ces fiches remplies au terme du débat, il nous semble que s'opère une sorte polarisation des élèves autour des thèmes qui ont été le plus discutés dans le jeu de rôle. Tout se passe comme si le remplissage de ces fiches accentuaient les contrastes.

Ainsi, les thèmes largement détaillés dans le jeu de rôle se détachent dans les fiches remplies après cette discussion de façon plus nette encore. Il en va ainsi de l'utilité des nanotechnologies pour la santé et l'environnement et de leur pendants "négatifs" : les problèmes de toxicité et les "risques pour l'environnement".

L'accentuation des contrastes fonctionne aussi pour les zones d'ombres : les thèmes qui avaient été portés du bout des lèvres dans le débat, disparaissent dans ces fiches remplies après le jeu de rôle.

Enfin, certaines notions sur lesquelles les élèves étaient restés généraux dans le jeu de rôle se retrouvent ici, mais nimbés d'un certain flou sur la réalité qu'elles recouvrent. C'est le cas de l'"éthique" mentionnée dans certaines fiches des élèves, de la notion de "communication" ou encore la demande de mise en place d'une "réglementation".

Chapitre 20

Analyse de la discussion qui a suivi le jeu de rôle (Grenoble)

Après que les élèves aient rempli par petit groupe les fiches dont nous avons analysé le contenu, toute la classe se rassemble dans une salle. Les élèves énoncent la prise de position de leur cahier d'acteur qui leur semble la plus importante, celle-là même qu'ils ont inscrite sur leur fiche remplie après le jeu de rôle. Ces différentes propositions (répertoriées sur le tableau 20.1) sont notées au tableau. Puis, on demande aux élèves de voter, c'est à dire de définir, au terme de cette activité, laquelle de ces 10 propositions leur semble le mieux coller avec ce qu'il leur semble le plus important dans les débats soulevés par les nanotechnologies.

La discussion que nous allons à présent analyser suit ce vote.

Elle a été articulée en deux temps. Il y a d'abord eu un premier moment de discussion présenté comme un moment permettant aux élèves d'expliquer leur vote et de commenter le contenu du jeu de rôle. Puis, lors des toutes dernières minutes de la séance, les élèves ont eu un temps de discussion libre où ils pouvaient exprimer ce qu'ils avaient pensé du fond et de la forme de l'activité.

Comme noté plus haut, nous analysons cette discussion pour tenter de répondre à la question suivante :

> "Comment les élèves comprennent-ils et mettent-ils à distance les discours sur les nanosciences et les nanotechnologies portés par différents acteurs intéressés par ces développements ?"

Pour y apporter des éléments de réponse, nous avons tâché d'identifier :

- Quels sont les thèmes abordés dans le débat et de quelles manières sont-ils discutés ?
- À quels contenus issus de leur cahier d'acteur les élèves font-ils éventuellement appel pour étayer leurs prises de positions et comment les mobilisent-ils ?

Nous avons distingué cinq axes d'analyse que nous allons examiner successivement.

Tout d'abord nous reviendrons sur les interventions où les élèves affichent leur souci de focaliser le développement des nanotechnologies sur le développement d'applications utiles, en particulier pour la médecine. Nous étudierons ensuite les prises de parole des élèves qui concernent les questions sanitaires et environnementales des développements des nanotechnologies. Le troisième point que nous examinerons aura trait aux interventions relatives à la manière dont sont développées les nanotechnologies. Nous décortiquerons ensuite les répliques dans lesquelles les élèves reviennent explicitement sur le contenu des échanges lors du jeu de rôle ou sur celui du cahier d'acteur qu'ils ont étudié. Enfin, nous soulignerons l'accent marqué mis par plusieurs élèves sur l'importance que revêt à leurs yeux les éléments "concrets" que ce

Groupe		Proposition
G1	FEBEA	Pour le développement des nanotechnologies mais tout en prenant des précautions, en faisant des études et en utilisant par exemple des nanocaspules qui permettent de protéger l'environnement des produits qu'on veut faire passer
G2	INRS	Il faut être sûr des risques et ne pas mettre en place quelque chose de nocif pour la santé
G3	CNIL	À trop utiliser les nanotechnologies sans mettre de loi et sans informer les gens, on peut rapidement ne plus rien maîtriser, entre autres les libertés des gens, les informations qui sont personnelles
G4	CENG	Les nanotechnologies dans le domaine neurologique c'est bien. Ça permet de faire beaucoup de choses mais il y a toujours des problèmes de communication.
G5	CNRS-CEA	Poursuivre les recherches en insistant sur le côté éthique, en développant en fonction de l'avis de la population et en insistant sur la communication.
G6	Académie de Médecine	Pour l'utilisation des nanotechnologies, parce qu'elles ont permis un grand développement de la médecine tout en prenant conscience des risques environnementaux et pour la santé
G7	Association Française Tranhumaniste	Continuer à développer la nanotechnologie surtout dans le domaine de l'écologie et sans urgence à cause des risques
G8	Fondation Sciences Citoyennes	Un peu de méfiance sur ces développements parce qu'il n'y a pas assez d'encadrement et on n'a pas assez de recul pour l'utilisation qu'on en fait maintenant.
G9	CFE-CGC	Pour les nanotechnologies surtout qu'elles permettent la création de pas mal d'emplois, mais en créant des réglementations et en suivant la santé des salariés qui sont en contact avec les nanotechnologies
G10	Les Amis de la Terre	Contre le développement des nanotechnologies quoique cet avis puisse changer à l'avenir si des mesures sont prises en compte au niveau de l'environnement et que la santé des patients est garantie.

Table 20.1 – Proposition telles qu'énoncées par les élèves par oral, juste avant la discussion finale

soit dans les développements des nanotechnologies ou dans les informations qu'on leur fournit sur ce que sont les nanotechnologies.

Finalement, suite à cet examen du contenu des répliques des élèves nous refermerons ce paragraphe par une discussion critique de ces échanges éclairée par notre analyse du jeu de rôle proprement dit.

20.1 Analyse du contenu des échanges

20.1.1 Des applications utiles

Au cours de cette discussion qui a suivi le jeu de rôle, plusieurs élèves discutent de l'utilité des différentes applications issues des nanotechnologies.

À plusieurs reprises, certains élèves mettent en avant l'importance de privilégier le développement d'applications utiles pour la société et au premier rang des domaines cités figure celui de la santé. Le premier élève à prendre la parole dans la discussion ouvre les échanges en intervenant sur ce thème. Il s'agit de l'élève qui a représenté la FEBEA lors du jeu de rôle. Il oppose les applications développées en médecine qu'il juge utiles et sources potentielles de progrès, aux autres développements qu'ils qualifie de *"plus gadgets"*.

2	Mathieu (FEBEA)	Bah je pense que... Je pense que la médecine, la médecine c'est quand même le plus, le développement le plus important parce que c'est euh, c'est là qu'on peut progresser en fait le plus et que c'est le plus utile. Parce que bon, quand on regarde, le reste c'est peut-être un peu du gadget en fait. (Brouhaha)
3	Émilien (AFT)	La nature !
4	Chercheure	Ouais ?
5	Mathieu (FEBEA)	Et... Alors que
6	Émilien (AFT)	La nature !
7	Chercheure	*(S'adressant à l'ensemble de la salle)* Par contre, on vous demande de laisser parler les gens et puis vous demandez la parole.
8	Mathieu (FEBEA)	À part après pour des problèmes écologiques et tout çà, mais je veux dire, quand on regarde après toutes les applications qu'on peut en faire, par exemple j'avais vu que
9	Chercheure	*(à Mathieu)* Une seconde. *(À toute la classe)* s'il vous plaît. Si vous avez des trucs à dire, c'est très bien, mais demandez la parole parce que comme on est trente, sinon, on n'entendra rien.
10	Chercheur	Et essayez de... faire un peu court quoi.
11	Mathieu (FEBEA)	Parce que j'avais vu qu'on pouvait inventer des nouveaux matériaux, des choses comme ça. Bah c'est bien, mais je veux dire, c'est pas le plus important et je pense qu'en médecine on peut vraiment améliorer la, la santé des gens et pouvoir guérir des, des maladies qu'on, qu'on peut pas actuellement quoi et...

Cette idée de "faire progresser" la médecine est donc motivée par l'espoir d'améliorer la santé des gens et d'offrir de nouvelles possibilités pour guérir des maladies aujourd'hui incurables. On retrouve un argument voisin dans l'intervention de l'élève qui a représenté l'Association Française Transhumaniste. Elle intervient pour mettre en cause le point de vue

selon lequel l'utilisation des nanotechnologies dans les crèmes solaires serait accessoire puisque selon elle, c'est utile pour guérir le cancer de la peau.

34	Aurélie (AFT)	Attend c'est pas de la cosmétique, c'est un truc pour guérir le cancer de la peau aussi.
35	Thomas M (Amis de la Terre)	Exactement euh
36	*(Quelqu'un je ne vois pas qui)*	*(brouhaha)* Ça ne guérit pas ça empêche !
37	Aurélie (AFT)	Moi dans ma famille il y a des cancers de la peau, ben je peux vous dire que c'est cool leur truc.

Lorsque l'élève intervient ici, elle fait référence à son histoire personnelle. L'importance qu'elle accorde aux promesses d'espoirs de guérison de cancer semble entrer en résonance avec son vécu. L'utilité de l'application des nanotechnologies aux crèmes solaires n'est ainsi, pour elle, pas discutable. Toutefois, elle confond le rôle prévention des cancers cutané du TiO_2 mis en avant par l'industrie cosmétique et les espoirs de guérison que pourraient laisser entrevoir de nouveaux traitements. Un des élèves le lui fait d'ailleurs remarquer (mais on ne voit pas bien qui parle sur la vidéo).

41	Juliette (CNIL) (?)	*(brouhaha)* La crème solaire, ça va pas guérir le cancer de la peau

Une autre élève, celle qui a représenté l'INRS au cours du jeu de rôle, revient aussi, un peu plus tard dans la discussion, sur les utilisations des nanotechnologies dans l'industrie cosmétique. Elle souligne que, selon elle, certaines applications hypothétiques des nanotechnologies pourraient n'être pas indispensables et que pire, elles pourraient avoir des effets indésirables.

81	Maria (INRS)	C'est surtout que quand on a fait le débat tout à l'heure ils se sont basés sur un seul exemple, c'était les cos... la crème solaire, mais dans, dans une entreprise qui fait des cosmétiques, les crèmes solaires c'est qu'une toute petite partie. Enfin, je veux dire toutes les crèmes anti-rides et cetera ou y a p'têtre des des nanotechnologies dedans... J'veux dire, c'est pas indispensable à la vie d'avoir des rides et encore, enfin voilà, ça peut polluer l'environnement et... enfin voilà.
82	*(Une fille sur le côté gauche à côté de Maria... je ne vois pas qui)*	D'avoir des rides ?
83	Maria (INRS)	Nan de mettre de la crème !
84	Chercheure	D'accord, donc toi tu dis
85	Maria (INRS)	Ils ont un exemple et ils se basent sur cet exemple pour prouver que... c'est bien.

Enfin, vers la fin de la première phase de discussion (celle qui suit immédiatement le vote), lorsque nous sollicitons les élèves ayant travaillé sur le cahier d'acteur de la CNIL pour recueillir leur avis sur le contenu de ce document qu'ils ont étudié, l'une des élèves met en avant l'importance qu'elle accorde au développement des nanotechnologies pour la médecine.

90	Chercheure	Par rapport quand même... Juste par rapport aux gens de la CNIL, là. Parce que vous, là, il y a eu beaucoup de choses sur... il y a eu beaucoup de choses sur euh en fait l'écologie, les problèmes de, liés à la santé, mais il y a eu d'autres choses qui sont, qui ont émergé, là, qui... dont on n'a pas beaucoup parlé, qui sont les histoires de réglementation, les histoires de protection des libertés individuelles et puis les histoires aussi de communication et d'acceptabilité. Là vous n'en avez pas parlé. Donc pour vous, c'est secondaire ? Vous pensez que ça passe après ? *(Anna demande la parole)* Ouais ?
91	Anna (CNIL)	Ben moi j'ai voté pour le groupe 6 parce que ça me paraît important la médecine, et tout de faire attention, mais ça ne veut pas dire que je ne suis pas d'accord avec la CNIL parce que... Si, si on développe

L'élève qui a étudié le cahier d'acteur de la CNIL souligne qu'elle n'objecte pas au contenu de ce document. Elle a toutefois choisi de mettre en avant l'intérêt des utilisations en médecine "tout en faisant attention" plutôt que la protection des libertés. Par ailleurs, dans son intervention la référence à ces applications dans le domaine de la médecine reste très générale.

Cette élève n'est pas la seule à afficher des réserves, à mettre en avant qu'il faut *"faire attention"*. Plusieurs de ses camarades plaident ainsi pour que les questions sanitaires et surtout les questions environnementales soient prises en compte dans les développements des nanotechnologies.

20.1.2 L'importance accordée aux questions sanitaires et surtout environnementales soulevées par le développement des nanotechnologies

Dès les premières prises de parole, le thème des préoccupations environnementales fait surface dans les propos des élèves.

2	Mathieu (FEBEA)	Bah je pense que... Je pense que la médecine, la médecine c'est quand même le plus, le développement le plus important parce que c'est euh, c'est là qu'on peut progresser en fait le plus et que c'est le plus utile. Parce que bon, quand on regarde, le reste c'est peut-être un peu du gadget en fait. (Brouhaha)
3	Émilien (AFT)	La nature !
4	Chercheure	Ouais ?
5	Mathieu (FEBEA)	Et... Alors que
6	Émilien (AFT)	La nature !
7	Chercheure	*(S'adressant à l'ensemble de la salle)* Par contre, on vous demande de laisser parler les gens et puis vous demandez la parole.
8	Mathieu (FEBEA)	À part après pour des problèmes écologiques et tout çà, mais je veux dire, quand on regarde après toutes les applications qu'on peut en faire, par exemple j'avais vu que...

Ce souci de protéger l'environnement se retrouve à plusieurs reprises comme par exemple dans le passage suivant qui fait suite à cette intervention de Mathieu, (l'élève qui a représenté la

FEBEA) plaidant pour le développement des applications en médecine des nanotechnologies.

15	Juliette (CNIL)	*(Levant la main)* Moi je suis pas d'accord parce que, enfin, ça sert à rien qu'on soit en bonne santé, mais si la planète elle est toute enfin... Enfin si c'est tout euh...
16	Chercheur	Allez-y, allez-y
17	Juliette (CNIL)	Tout... Tout abimé et tout ça, si la planète elle est toute... enfin
18	Chloé (CNIL)	Endommagée.
19	Juliette (CNIL)	Endommagée, voilà et ben ça sert à rien... Enfin... Il faut que ce soit équilibré quand-même.
20	Chercheure	D'accord.
21	Juliette (CNIL)	Il faut aussi l'environnement.
22	Chercheure	Donc par rapport au vote que vous avez fait, est-ce que vous avez eu des difficultés ? Est-ce que vous trouviez qu'il y avait plusieurs dimensions que vous auriez voulues mettre en avant.
23	Maria (INRS)	Mais de toute façon dans le 6, il y a les deux.

Les élèves mettent donc ici dans la balance d'un côté le développement d'applications, et en particulier d'applications pour la santé, et de l'autre les enjeux de protection de l'environnement.

Cette prise en compte affirmée des questions environnementales se retrouve dans la prise de parole de l'un des élèves qui a étudié en préparation le cahier d'acteur de l'Association Française Transhumaniste.

50	Chercheure	Ouais. Est-ce que quelqu'un a envie d'expliquer son choix, de donner les raisons qui le motivent. Par exemple ceux qui ont voté bah des trucs par exemple autres que le G6. Euh.
51	Émilien (AFT)	*(levant la main)* Euh... Ouais, G7.
52	Chercheure	Par exemple il y en a qui ont voté...
53	Chercheur	Oui là, regarde, tu as quelqu'un
54	Chercheure	Ouais ?
55	Émilien (AFT)	Euh... J'sais pas, moi j'ai envie de dire quand même que l'homme il vit dans la nature et que la nature elle vit pas dans l'homme et que c'est plus important de garder la nature et ensuite, on s'occupe de l'homme
56	Chercheure	D'accord. Et t'as voté quoi ?
57	Émilien (AFT)	G7. Parce que ben c'est pour l'écologie principalement quoi
58	Chercheure	D'accord, c'est pour l'écologie principalement ?
59	Thibault (AFT)	Ouais, moi c'est pareil.
60	Aude (CNRS-CEA)	Moi aussi c'est pareil

L'idée de préservation des équilibres écologiques nous semble donc préoccuper plusieurs élèves. Toutefois lorsqu'Émilien argumente ici son point de vue, il invoque seulement des idées très générales et ne prend pas appui sur des exemples concrets qui auraient pu être mentionnés dans le jeu de rôle. Son raisonnement apparaissait par ailleurs déjà dans sur l'une de fiches remplies par par lui et son groupe en préparation du jeu de rôle, alors qu'ils s'apprêtaient à porter le message de l'Association Française Transhumaniste.

> *"l'homme $\in$ Nature, si la Nature va bien, l'Homme ne peut aller que mieu.*
> *$\rightarrow$ Nature englobe + de chose que l'Homme."*

Enfin, à un autre endroit, l'un des élèves qui a étudié le cahier d'acteur des Amis de la Terre exprime aussi sa volonté de prendre en compte les problèmes environnementaux. Il met en avant son point de vue mais sans l'étayer par des références au contenu du document qu'il a étudié.

68	Thomas M (Amis de la Terre)	Si...si le G1 il faisait pas que de la co... de la cosmétique, il serait assez complet parce qu'il ferait le développement, il... Il donnerait des solutions et... aux problèmes environnementaux... donc en fait, j'avais oublié l'histoire de la cosmétique dans mon choix du groupe 1 *(rires)*
69	Chercheure	Toi t'avais voté quoi ?
70	Thomas M (Amis de la Terre)	Le groupe 1. Mais euh... Parce que si on enlève cette histoire de cosmétiques, au final il est... enfin il est assez complet. Il est pour l'environnement, pour les recherches donc eux

Thomas affiche ici souhaiter trouver un équilibre entre développer les recherches sur les nanotechnologies et préserver l'environnement. Il explique qu'il a donc voté pour la prise de position de la FEBEA telle que l'ont rapportée les élèves qui ont étudié ce cahier. Nous y reviendrons un peu plus tard au paragraphe 20.1.4.

Plusieurs élèves mettent donc en avant l'idée que les nanotechnologies pourraient permettre des progrès en particulier dans le domaine médical et dans le même temps, affirment vouloir préserver l'environnement. Certains reviennent aussi sur la manière dont il faudrait procéder pour développer les nanotechnologies.

20.1.3 Maîtriser et réguler le développement des nanotechnologies

L'élève qui a porté les couleurs de la FEBEA lors du jeu de rôle suggère que l'on établisse une sorte d'ordre de priorités pour assurer la maîtrise des développements des nanotechnologies. Comme lorsqu'il était intervenu pour s'exprimer en faveur du développement d'applications utiles, il estime que le développement de nouveaux matériaux plus légers et plus résistants est secondaire comparé aux applications pour la médecine et voudraient que les efforts pour développer ces matériaux passent après les recherches sur la *"sécurité de l'utilisation des nanotechnologies"*.

46	Chercheure	Ouais. Mais toi tu disais que c'était pour la santé... Par rapport aux gadgets et aux matériaux, tu as des trucs à rajouter par rapport à ça ? Nan ?
47	Mathieu (FEBEA)	Bah nan, mais voilà,
48	Chercheur	Quels gadgets ?
49	Mathieu (FEBEA)	Bah par exemple inventer des matières, bah par exemple légères et résistantes ou des choses comme ça... C'est bien, mais il faudrait voir ça après quoi. Et pousser plus les recherches sur la sécurité, la sécurité de l'utilisation des nanotechnologies et la médecine. En premier lieu, je veux dire. Et ensuite, peut-être voir d'autres choses.

De même, comme nous l'avons déjà ébauché, l'idée de garder la maîtrise des développements est aussi présente dans l'intervention de l'une des élèves qui a étudié le cahier d'acteur de la CNIL. Cette élève reprend à son compte la mise en garde de la CNIL contre la perte de maîtrise engendrée par la prolifération d'outils communicants.

90	Chercheure	Par rapport quand même... Juste par rapport aux gens de la CNIL, là. Parce que vous, là, il y a eu beaucoup de choses sur... il y a eu beaucoup de choses sur euh en fait l'écologie, les problèmes de, liés à la santé, mais il y a eu d'autres choses qui sont, qui ont émergé, là, qui... dont on n'a pas beaucoup parlé qui sont les histoires de réglementation, les histoires de protection des libertés individuelles et puis les histoires aussi de communication et d'acceptabilité. Là vous n'en avez pas parlé. Donc pour vous, c'est secondaire ? Vous pensez que ça passe après ? *(Anna demande la parole)* Ouais ?
91	Anna (CNIL)	Ben moi j'ai voté pour le groupe 6 parce que ça me paraît important la médecine, et tout de faire attention, mais ça ne veut pas dire que je ne suis pas d'accord avec la CNIL parce que... Si, si on développe
92	Chercheure	*(le bruit monte)* s'il vous plaît
93	Anna (CNIL)	Si on développe les nanotechnologies comme ça, en masse, à la fin, on ne pourra peut-être plus tout maîtriser et euh... Et voilà, enfin...

Une fois encore, les arguments demeurent relativement vagues, en ce sens que l'élève n'explicite pas pourquoi elle parle de perte de maîtrise ou encore qu'elle ne se réfère pas précisément au contenu du cahier d'acteur de la CNIL (par exemple en faisant référence à la multiplication des RFID, aux problèmes de sécurité...).

Une autre élève intervient également pour soutenir le point de vue selon lequel un développement des nanotechnologies qui n'aurait pas été anticipé pourrait mettre en danger les libertés. Sa réaction est suivi par l'intervention de Mathieu, l'élève qui a représenté la FEBEA, qui élargit sa demande de régulation aux développements des nanotechnologies en général.

99	Chercheure	Toi tu dis que... Donc en fait la CNIL pour ceux qui n'ont pas lu le cahier d'acteur, c'est ce qu'elle disait, il est vraiment sur les problèmes de... les libertés individuelles et il anticipe sur ce que pourront être les problèmes de la société à long terme. Donc toi tu dis que c'est important *(montrant Anna)*, toi tu dis que ça te paraît un peu trop futuriste *(montrant Diana)* et *(s'adressant à Claire)* tu veux réagir ?
100	Juliette (CNIL)	Moi je dis c'est important parce que enfin quand même, si on, on voit pas pour plus tard, ça va arriver d'un seul coup et on sera débordé. Enfin...
101	Chercheure	D'accord donc sur les questions de libertés individuelles aussi, donc toi tu dis c'est important aussi. Au même titre que la santé et l'environnement ? Ouais ?
102	Mathieu (FEBEA)	Moi je pense que c'est surtout une sorte de règle à fixer dès le départ quoi.
103	Chercheure	D'accord, donc un problème de réglementation ?
104	Mathieu (FEBEA)	Ben oui, pour que les règles soient fixées et pas qu'on commence à développer des trucs et puis qu'après, une fois que c'est développé ah bah tiens, il faudrait changer çà et puis après c'est toujours difficile quoi. Une fois que les choses sont déjà développées de rechanger. Donc euh, il faudrait mieux fixer les règles dès le départ et après les recherches, elles se basent là dessus.
105	Chercheure	D'accord. Donc fixer les règles. Mais pour le moment, qu'est-ce qui a, qu'est-ce qui a plutôt émergé dans le débat sur les réglementations ?
106	Mathieu (FEBEA)	Bah de... de pas... c'était sur les informations biologiques des gens, parce que par exemple, grâce aux nanotechnologies, on peut... Enfin, mettre des capteurs dans le corps humain pour pouvoir avoir des informations vitales en fait et donc il faudrait que ça puisse... qu'on puisse certifier que ça reste confidentiel quoi. Par exemple.
107	Chercheure	D'accord. Donc toi tu dis que le besoin de réglementation, tu dis qu'il y a pas besoin *(? - dur à comprendre)* et c'est important ?
108	Mathieu (FEBEA)	Bah mettre une réglementation dès le départ et qu'ensuite, les choses se basent là dessus. Pas l'inverse, pas développer et ensuite, mettre des règles.

L'argument que Mathieu met en avant pour défendre la nécessité d'encadrer les développements des nanotechnologies est le suivant : une fois qu'elles auront été développées, faire machine arrière sera beaucoup plus délicat. Il en appelle alors à l'instauration de règles encadrant la recherche dès le départ.

Si certains élèves insistent sur l'importance de réguler les développements des nanotechnologies, la question de l'appropriation par les citoyens des questions soulevées par les nanotechnologies et de leur participation à ce processus de régulation n'est en revanche pas évoquée au cours de la discussion qui suit immédiatement le vote. Ce thème est toutefois un peu discuté lors du temps de "discussion libre" qui conclut la séance.

115	Geoffrey (FSC)	Bah le truc c'est que on n'en sait pas plus nous sur les nanotechnologies.
116	Chercheur	*(Au reste de la classe)* S'il vous plaît ! S'il vous plaît est-ce que vous pouvez laisser euh... *(à Geoffrey)* Ouais ?
117	Geoffrey (FSC)	on n'en sait pas plus sur les nanotechnologies, sur concrètement ce que c'est. Quoi.
118	Alexandre (Les Amis de la Terre) (?)	Ouais moi j'suis d'accord avec toi Geoffrey.
119	Primela (CFE-CGC)	Bah c'était pas le but
120	Chercheure	Ouais, donc toi tu dis ?
121	Primela (CFE-CGC)	Bah c'était pas le but. On était là pour donner notre avis nous, savoir les gens qui sont pas trop au courant. Enfin, qu'est-ce qu'ils connaissent, enfin le peu de trucs qu'ils connaissent quoi.
122	Geoffrey (FSC)	Ouais mais tu... Enfin j'sais pas toi si tu
123	Aude (CNRS-CEA)	Mais les nanotechnologies c'est pas de ton niveau. Enfin... Tu pourras jamais savoir tant que tu travailles pas...

Deux élèves estiment ne pas savoir concrètement ce que sont les nanotechnologies. L'une des élèves, Primela, qui a étudié le cahier d'acteur de la CFE-CGC, intervient alors et estime que l'objectif de l'activité était plutôt de donner son avis.

Sur ces entrefaites, Aude, l'élève qui a représenté le CNRS et le CEA lors du jeu de rôle, déclare que les nanotechnologies ne sont pas de leur niveau.

Plusieurs élèves reviennent ainsi, souvent dans des termes assez généraux, sur l'importance d'encadrer les développements des nanotechnologies. Certains commentent aussi le contenu du jeu de rôle ou de leur cahier d'acteur.

20.1.4 Prise de distance par rapport au jeu de rôle ou aux cahiers d'acteur

Les allusions au jeu de rôle ou au contenu des documents qui ont servi de sous-bassement à l'activité nous paraissent pour certaines révélatrices d'une certaine prise de distance par rapport aux échanges ou aux discours auxquels les élèves ont été confrontés. D'autres interventions nous semblent aussi parfois empreintes d'une certaine naïveté dénotant peut-être une absence de recul par rapport à ces discours.

Dans l'extrait suivant, certains élèves reviennent sur les propos tenus par l'élève-représentant la FEBEA au cours du jeu de rôle. L'un d'entre eux le qualifie ce discours de *"propagande"*.

27	Chercheure	Et par rapport à ce que vous avez vu dans vos cahiers d'acteurs, est-ce que vous trouvez euh, est-ce que il y a des changements de prises de positions qui vous semblent intéressantes à développer ? Il y a des choses où vous étiez pas du tout d'accord euh...
28	Cyril (FSC)	Le cosmétiques
29	Thomas S (FSC)	Ouais les cosmétiques...
30	*(Quelqu'un je ne vois pas qui)*	La propagande de la cosmétique
31	Aurélie (AFT)	Pourquoi les cosmétiques ?
32	Thomas S (FSC)	Avec leurs capsules là ça sert pas à grand chose

Par ailleurs, toujours à propos du discours proposé par la Fédération des Entreprises de la Beauté, l'élève qui a représenté l'INRS affiche aussi sa méfiance. Elle souligne l'angle d'approche particulier retenu par ce syndicat professionnel et estime que les applications des nanotechnologies dans le domaine des cosmétiques pourraient ne pas se limiter aux crèmes solaires.

81	Maria (INRS)	C'est surtout que quand on a fait le débat tout à l'heure ils se sont basés sur un seul exemple, c'était les cos... la crème solaire, mais dans, dans une entreprise qui fait des cosmétiques, les crèmes solaires c'est qu'une toute petite partie. Enfin, je veux dire toutes les crèmes anti-rides et cetera ou y a p'têtre des des nanotechnologies dedans... J'veux dire, c'est pas indispensable à la vie d'avoir des rides et encore, enfin voilà, ça peut polluer l'environnement et... enfin voilà.
82	*(Une fille sur le côté gauche à côté de Maria... je ne vois pas qui)*	D'avoir des rides ?
83	Maria (INRS)	Nan de mettre de la crème !
84	Chercheure	D'accord, donc toi tu dis
85	Maria (INRS)	Ils ont un exemple et ils se basent sur cet exemple pour prouver que... c'est bien.

À l'inverse, comme nous l'avons rapporté plus haut l'un des élèves qui a étudié le cahier d'acteur des Amis de la Terre a voté pour la position défendue par le syndicat professionnel des entreprises de la beauté. Cet élève indique estimer que le discours mis en avant par cette fédération est plutôt équilibré. Le seul travers qu'il semble lui reprocher, c'est de se focaliser sur le développement des cosmétiques.

68	Thomas M (Amis de la Terre)	Si...si le G1 il faisait pas que de la co... de la cosmétique, il serait assez complet parce qu'il ferait le développement, il... Il donnerait des solutions et... aux problèmes environnementaux... donc en fait, j'avais oublié l'histoire de la cosmétique dans mon choix du Groupe 1 *(rires)*
69	Chercheure	Toi t'avais voté quoi ?
70	Thomas M (Amis de la Terre)	Le groupe 1. Mais euh... Parce que si on enlève cette histoire de cosmétiques, au final il est... enfin il est assez complet. Il est pour l'environnement, pour les recherches donc eux

Ici l'élève ne semble pas tenir pas compte du rôle de l'acteur en société qui porte ce discours. L'un des encadrants d'ailleurs tente de le lui faire remarquer.

72	Chercheur (Joël)	Le groupe 1 c'est donc une fédération d'industriels
73	Thomas M (Amis de la Terre)	*(rire gêné)*
74	*(Une fille sur le côté gauche... Je ne vois pas qui)* Maria ?	Ah bon bah finalement *(rires)*

75	Cyril (FSC)	Les cosmétiques, c'est le seul truc qu'il font
76	Chercheur	Nan c'est juste... Voilà
77	Thomas M (Amis de la Terre)	Nan nan mais euh... C'est à dire une fédération d'industriels ?
78	Chercheur	Bah, les gens ont pas tout à fait le même rôle ici et donc en fonction des acteurs qui le propose, là c'est une industrie qui effectivement produit les cosmétiques en question avec un positionnement qui est un positionnement d'industriel ;
79	Thomas M (Amis de la Terre)	Ouais...

D'autres interventions portant sur le débat nous paraissent également dénoter une certaine ingénuité. Ainsi, l'élève qui a représenté l'Association Française Transhumaniste estime que tous les positions qui ont été représentées sont relativement consensuelles. Elle l'explique en arguant que tous les Hommes appellent de leurs vœux *"qu'on ait une belle planète et que tout le monde soit heureux"*.

88	Aurélie (AFT)	D'façon, tous les, tous les groupes ils sont un peu sur le même euh, sur le même point de vue. D'façon les gens sont dans la société et tout le monde veut que ça marche bien, qu'on ait une belle planète et que tout le monde soit heureux, donc euh. Si ça marche mieux tant mieux si ça marche pas bah tant pis.

Cette sorte de nivellement des prises de position, d'affirmation que toutes les positions mises en scène se valent et qu'aucune ne se distingue clairement par rapport au autres est aussi soutenue par d'autres élèves plus tard, dans la phase finale de discussion libre.

Ainsi, Lucie qui a représenté l'Académie de Médecine parle de *"positions pas vraiment tranchées"*. Aurélie qui a représenté l'Association Française Transhumaniste rebondit sur cette intervention en soulignant de nouveau l'absence d'antagonismes marqués entre les différents acteurs.

136	Chercheure	Ouais, OK. *(à Thibauld et Lucie qui discutent)* Vous vouliez réagir aussi vous, dire ce que vous en aviez pensé ?
137	Lucie (Académie de Médecine)	Nan, nous ce qu'on trouvait c'est qu'il n'y a pas eu de positions vraiment tranchées. De gros pour et de gros contre, quoi. Après du coup, tout le monde, ça se rejoint. C'est pareil. Ils disent pour, mais attention.
138	Aurélie (AFT)	Ouais ou quelqu'un qui représente l'Etat ou quelqu'un qui représente un grand industriel moche et tout méchant
139	Chercheure	D'accord. Il y avait des industriels. Alors, je ne sais pas si ils sont tout moches et tout méchants mais *(Inaudible, couvert par les rires)*
140	Aurélie (AFT)	Oui mais ça aurait été mieux si il y avait eu quelqu'un qui utilise les nanotechnologies pour faire un max de... Un max de thune
141	Aude (CNRS-CEA)	Nan mais
142	Edwige *(? - Je ne suis pas tout à fait sûr que ce soit elle qui parle)*	En fait c'est ça mais ils l'ont pas présenté comme ça
143	Thibauld (Académie de Médecine)	Il y a eu que des oui et il y a pas eu un groupe qui a dit "Non"

Lorsque Aurélie regrette qu'il n'y ait pas eu de représentant de l'État ou un *"industriel tout moche tout méchant"*, cela nous semble révélateur du fait que le jeu de rôle n'a peut-être pas permis aux élèves de bien cerner quels sont les acteurs représentés au cours du jeu de rôle. Cela nous semble aussi sympThibaultatique de certaines idées préconçues qu'affirment ici l'élève. Selon elle, si *"un grand industriel"* avait été représenté, il aurait nécessairement nourri des aspirations cupides et l'aurait assumé verbalement et sans fard.

Par ailleurs, lorsque Tristan estime qu' *"il n'y a eu que des oui"*, il nous semble qu'il code le débat de façon binaire : pour ou contre les nanotechnologies. Il ne s'agit donc plus de saisir quels sont les questionnements que ces développements technoscientifques suscitent mais plutôt de se déclarer globalement pour ou contre.

Enfin, une autre élève elle, affiche son scepticisme vis-à-vis du cahier d'acteur qu'elle a étudié, en l'occurence celui de la CNIL.

95	Diana (CNIL)	Moi je trouve que c'est un peu futuriste ce qu'ils pensent. C'est pas assez concret les trucs de la CNIL. Enfin les histoires euh...
96	Chercheure	Sur ce que dit la CNIL ?
97	Diana (CNIL)	Oui donc euh... ils sont un peu trop dans le futur, enfin *(inaudible)*
98	Juliette (CNIL)	Mais ils ont raison quand même

L'élève qui s'exprime ici est celle qui a représenté cette autorité administrative dans le jeu de rôle. Selon elle, la CNIL va trop loin dans l'anticipation. Pour elle tout ça n'est pas assez concret.

Cette demande de concret et d'éléments tangibles se retrouve aussi dans d'autres interventions tout au long de cette discussion qui suit le jeu de rôle.

20.1.5 Demandes d'éléments concrets

La demande de concret concerne d'abord les arguments échangés au cours du débat. Aurélie qui a représenté l'Association Française Transhumaniste lorsqu'elle affirme que les crèmes solaires ne sont pas une application inutile et se réfère à son vécu personnel reproche aux autres de ne pas s'appuyer sur des *"exemples concrets"*.

34	Aurélie (AFT)	Attend c'est pas de la cosmétique, c'est un truc pour guérir le cancer de la peau aussi.
35	Thomas M (Amis de la Terre)	Exactement euh
36	*(Quelqu'un je ne vois pas qui)*	*(brouhaha)* Ça ne guérit pas ça empêche !
37	Aurélie (AFT)	Moi dans ma famille il y a des cancers de la peau, ben je peux vous dire que c'est cool leur truc.
38	Émilien (AFT)	Ouais mais ta vie... Voilà quoi.
39	Aurélie (AFT)	Nan mais c'est vrai, vous ne prenez pas d'exemples concrets aussi.

De même comme nous l'avons signalé, un peu plus tard dans la discussion, Diana qui a représenté la CNIL dans le jeu de rôle, considère que le discours de cette organisation dans son cahier d'acteur n'est pas non plus assez concret.

95	Diana (CNIL)	Moi je trouve que c'est un peu futuriste ce qu'ils pensent. C'est pas assez concret les trucs de la CNIL. Enfin les histoires euh...
96	Chercheure	Sur ce que dit la CNIL ?
97	Diana (CNIL)	Oui donc euh... ils sont un peu trop dans le futur, enfin *(inaudible)*
98	Juliette (CNIL)	Mais ils ont raison quand même

Enfin, cette demande d'éléments concrets sur lesquels s'appuyer se retrouve aussi dans la dernière partie de la séance lors de la discussion libre. Geoffrey qui a étudié le cahier d'acteur de la Fondation Sciences Citoyennes et Alexandre qui a lui travaillé sur la contribution des Amis de la Terre, déplorent alors que *"concrètement"*, ils n'en sachent pas plus sur les nanotechnologies.

115	Geoffrey (FSC)	Bah le truc c'est que on n'en sait pas plus nous sur les nanotechnologies.
116	Chercheur	*(Au reste de la classe)* S'il vous plaît ! S'il vous plaît est-ce que vous pouvez laisser euh... *(à Geoffrey)* Ouais ?
117	Geoffrey (FSC)	on n'en sait pas plus sur les nanotechnologies, sur concrètement ce que c'est. Quoi.
118	Alexandre (Amis de la Terre)	Ouais moi j'suis d'accord avec toi Geoffrey.

Cette entrée par les débats sur les enjeux des développements des nanotechnologies ne semble ainsi pas vraiment satisfaisante à Geoffrey et Alexandre. Quelques répliques plus tard, Geoffrey souligne de plus que lors d'une expérience précédente, il avait eu le sentiment de pouvoir un peu mieux matérialiser ce qu'étaient les nanotechnologies.

123	Aude (CNRS-CEA)	Mais les nanotechnologies c'est pas de ton niveau. Enfin... Tu pourras jamais savoir tant que tu travailles pas...
124	Geoffrey (FSC)	Bah moi j'ai fait le truc l'année dernière, je vois un petit peu ce que c'est, mais...
125	Chercheure	Juste, le truc, c'est quoi ?
126	Geoffrey (FSC)	C'était un stage à Minatec.
127	Vanessa (CNRS-CEA) ou Aurélie (AFT)	à Soitec
128	Chercheure	D'accord.
129	Geoffrey (FSC)	Ils nous ont expliqué en gros mais, on voit un petit mieux.
130	Aurélie (AFT)	Mais on va y aller. On va expliquer... Après.
131	Aude (CNRS-CEA)	Mais t'avais une semaine pour comprendre ce que c'était
132	Vanessa (CNRS-CEA)	Nan trois jours.
133	Geoffrey (FSC)	Nan, je comprends pas tout mais.
134	Vanessa (CNRS-CEA)	Bah non mais tu fais des activités et tout ; ça t'aide à visualiser

Ce sentiment de n'avoir pas eu un aperçu exhaustif des possibilités des nanotechnologies est aussi partagé par Mathieu, l'élève qui a représenté la FEBEA lors du jeu de rôle. S'appuyant sur des choses qu'il a lues ou entendues en dehors de cette activité, il considère que cette activité de jeu de rôle n'a pas permis de discuter de toutes les réalisations permises par les nanotechnologies.

154	Mathieu (FEBEA)	Bah je pense que c'est... enfin on n'a pas vu tout ce que, toutes les applications qui sont en train d'être développées en fait sur les nanotechnologies.
155	Chercheure	D'accord
156	Mathieu (FEBEA)	Par exemple quand je parlais tout à l'heure de créer nos propres matériaux en fait en modifiant les, les composants... Et euh... parce que j'avais vu des reportages et ils parlaient de créer nos propres matières en fait, nos propres molécules, nos propres aThibaultes, alors que... Enfin voilà...
157	Chercheure	Ok, d'accord. *(Anna lève la main)* Ouais

Deux des élèves qui ont représenté le CENG regrettent aussi que l'éventail des domaines d'applications où pourraient être utilisées les nanotechnologies n'ait pas été mieux détaillé.

164	Cécilia (CENG)	Moi j'aurais bien aimé qu'on voit d'autres domaines parce qu'on avait quoi, bon la médecine, l'écologie, mais il y a quand même d'autres domaines où les nanotechnologies sont utilisées, je pense.
165	Élodie (CENG)	Tout à fait.
166	Cécilia (CENG)	On ne sait pas du tout lesquels quoi. On aurait bien aimé avoir un aperçu.

Enfin, si plusieurs élèves auraient voulu avoir des applications concrètes à se mettre sous la dent, d'autres paraissent moins gênées par cette approche mettant l'accent sur les enjeux des développements des nanotechnologies.

158	Anna (CNIL)	Ben moi j'ai trouvé ça bien parce que ça nous a permis de, de comprendre un minimum, enfin en surface quoi, les enjeux. Après sans rentrer dans les détails et rapidement, enfin (inaudible)
159	Maria (INRS)	On se rend compte des enjeux
160	Anna (CNIL)	Ouais voilà. Sans forcément rentrer dans les détails parce qu'on n'a pas le temps et peut-être parce qu'on n'a pas forcément les connaissances.
161	Chercheure	Ouais alors donc euh *(Chloé et Cécilia lèvent la main).* Peut-être vas-y et puis on prendra ce que tu as à dire après.
162	Chloé (CNIL)	Oui, je suis d'accord avec Anna et on a pu découvrir que... plusieurs domaines d'application parce que nous par exemple, au départ, on travaillait sur euh, sur euh, pour les libertés individuelles machin, et on avait comme exemple euh, une puce qui serait intégrée à la peau pour payer les consommations en boîte de nuit donc on comprenait pas trop à quoi ça servait en gros. Et donc euh après on a pu voir plusieurs domaines d'applications.

Finalement, dans la dernière réplique, Chloé estime comme Anna que le jeu de rôle et sa préparation leur permis de cerner certains enjeux des développements des nanotechnologies et qu'au travers de leur cahier d'acteur où figuraient des exemples d'applications, cette demande de "concret" trouvait des éléments de réponse.

En dépit de cette dernière réplique, les échanges qui ont suivi le jeu de rôle sont toutefois marqués par la demande récurrente d'alimenter la discussion par des éléments concrets.

Nous allons à présent refermer cette analyse de la première mise en œuvre de l'activité de jeu de rôle en discutant, à la lumière de notre analyse du jeu rôle, le contenu des débats qui se sont tenus en fin de séance.

20.2 Bilan et discussion à la lumière de l'analyse du jeu de rôle

L'examen des échanges qui ont eu lieu lors de cette discussion clôturant la séance, montre que plusieurs élèves formulent le souhait que le développement des nanotechnologies serve au développement d'applications utiles, en particulier pour la médecine.

Plusieurs élèves sont aussi revenus les questions environnementales soulevées par les développements des nanotechnologies. Ils ont alors insisté sur l'importance de réunir les conditions d'un développement des nanotechnologies respectueux des écosystèmes. Pour cela, certains élèves ont pointé l'importance de réguler ces développements et ce, dès le stade de la recherche, pour en garder la maîtrise.

Par ailleurs, lorsqu'ils sont revenus sur le contenu des discours des différents acteurs lors du jeu de rôle, quelques élèves nous ont paru faire preuve d'un certain scepticisme. En revanche, d'autres interventions nous ont aussi semblé marquées par une certaine naïveté. Ainsi, l'élève qui a représenté l'Association Française Transhumaniste semblait s'attendre à ce que les acteurs défendent bec et ongles des positionnements tranchés voire caricaturaux. Nous avons aussi relevé que certains élèves avaient tendance à réduire les débats sur les nanotechnologies à une opposition pour ou contre ces développements.

Enfin, cet examen des tours de parole de la discussion post-jeu de rôle nous a aussi permis d'identifier une demande récurrente dans les propos des élèves. Plusieurs d'entre eux ont fait savoir qu'ils auraient voulu plus d'illustrations concrètes de ce que sont les nanotechnologies. L'élève qui a représenté le CNRS et le CEA lors du jeu de rôle a alors suggéré que les nanotechnologies n'étaient de toute façon peut-être pas de leur niveau.

Nous voudrions à présent mettre en perspective le contenu de cette discussion qui a marqué la fin de la séance avec le contenu des échanges qui ont eu lieu lors du jeu de rôle. Pour cela, nous allons revenir d'abord sur les thèmes abordés pendant cette discussion qui clot la séance. Ensuite, nous reviendrons brièvement sur la demande de "concret" exprimée par certains élèves. Enfin nous acheverons ce chapitre par quelques réflexions sur cette activité de jeu de rôle et sur sa place dans la séquence d'enseignement sur les controverses soulevées par les nanotechnologies que nous avons construite.

20.2.1 Réduction de la complexité de la controverse

Nous avions noté que, dans les fiches remplies par les élèves après le jeu de rôle, seules certaines thématiques parmi les plus discutées dans le jeu de rôle demeuraient. Ainsi, nous avions retrouvé dans les écrits des élèves la discussion sur l'utilité des nanotechnologies, leurs utilisations pour l'environnement et la médecine, les questions de toxicité, les demandes de mise en place d'une réglementation, l'insistance sur l'information du public et la communication et quelques allusions à "l'éthique". Ici, dans la discussion en dernière partie de séance, les thèmes abordés se resserrent encore autour de certains de ces objets de préoccupations.

Ainsi, les thématiques abordées dans le débat final figurent parmi celles qui ont été les plus discutées dans le jeu de rôle. De nouveau, il a été question d'utilité des nanotechnologies et de leurs applications en médecine, de protection de l'environnement et de demande de mise en place d'une réglementation pour encadrer les nanotechnologies. Il semble ainsi que la discussion finale ait eu pour effet d'édulcorer encore l'éventail de thématiques abordées par les élèves, en ne conservant que certains thèmes parmi les plus présents dans le jeu de rôle.

Dans cette discussion qui conclut la séance, les élèves ne proposent par ailleurs pas de prises de position qui n'auraient pas été présentées dans le jeu de rôle. Nous avons par contre repéré un argument avancé dans la discussion en fin de séance qui n'avait pas été utilisé dans le jeu de rôle. Ainsi lorsqu'il est question de mise en place d'une réglementation, l'élève qui a représenté la FEBEA plaide pour un encadrement des nanotechnologies, car une fois que les nanotechnologies auront été développées, faire machine arrière sera très délicat.

Enfin, s'il y a eu peu de nouveau dans les objets de discussion débattus en fin de séance, deux thèmes qui étaient assez largement présents dans le jeu de rôle ont en revanche été peu discutés dans la discussion finale. Il s'agit des questions de toxicité des nanoparticules et de l'information du public.

Dans la discussion post-jeu de rôle, plusieurs élèves expriment leur souci de protéger l'environnement mais ils ne mentionnent pas les risques sanitaires liés à l'utilisation des nanoparticules. Ce thème avait pourtant été plutôt largement abordé dans le jeu de rôle. Ici les problèmes sanitaires soulevés par l'utilisation des nanoparticules ont peut-être été un peu éclipsés par les discours sur la protection de l'environnement auxquels plusieurs élèves semblent se montrer très sensibles.

Le second thème qui a été assez largement discuté dans le jeu de rôle et qui n'a été repris ici que du bout des lèvres est celui de l'information des citoyens. Dans la discussion post-jeu de rôle, il n'en est pratiquement pas du tout question hormis peut-être lorsque l'élève qui a représenté le CNRS et le CEA s'adresse à un de ses camarades en lui lançant

> *"mais les nanotechnologies, c'est pas de ton niveau. Enfin... Tu pourras jamais savoir tant que tu travailles pas..."*

Ce point de vue est peut-être à mettre en rapport avec ce que l'élève représentant la Fondation Sciences Citoyennes mais aussi l'élève représentant la FEBEA avaient affirmé au cours du jeu de rôle. Le premier avait ainsi déclaré

> *"Et le fait est que de toute façon, la population est très peu informée, et n'est pas à même à donner des avis constructifs, à participer pleinement à un débat,*

parce que ils ne comprennent pas tout."

Et le second avait renchéri :

> *"je ne pense pas que ce soit très facile d'expliquer ça à une population qui n'a pas forcément une culture euh scientifique très élevée, à un niveau assez élevé pour comprendre les risques liés à, à des choses que même les chercheurs ne maîtrisent pas."*

L'idée selon laquelle les citoyens non-spécialistes ne pourraient pas comprendre certaines questions soulevées par les nanotechnologies transparaissait donc dans le jeu de rôle et semble aussi ressurgir dans le discussion finale. Toutefois ceci est peut-être à nuancer car l'élève qui a représenté le CNRS et le CEA avait aussi écrit avec son groupe juste avant cette discussion finale, qu'il était important que

> *"ce domaine* [les nanotechnologies] *avance grâce aux avis de la population."*

Finalement les thématiques abordées dans la discussion finale reprennent certains des thèmes qui ont été parmi les plus débattus dans le jeu de rôle. "L'accentuation des contrastes" que nous avions relevée dans les fiches remplies par les élèves après le jeu de rôle, se retrouve ici de façon peut-être encore plus marquée. De nouveau, ne sont repris que certains des thèmes parmi les plus discutés lors du jeu de rôle. Et de nouveau, les objets de préoccupations abordés en demi-teinte dans le jeu de rôle, ont été complètement esThibaultpés dans cette discussion de fin de séance.

Cette disparition d'un certain nombre d'objets de débat, se double par ailleurs d'une sorte de schématisation des prises de position dans certaines prises de parole des élèves, qui tendent à niveler les discours. Quand une élève affirme :

> *"D'façon les gens sont dans la société et tout le monde veut que ça marche bien, qu'on ait une belle planète et que tout le monde soit heureux, donc euh. Si ça marche mieux tant mieux si ça marche pas bah tant pis."*

elle neutralise le débat en simplifiant à outrance la discussion. Un autre élève estimait aussi *"qu'il n'y avait que des oui"* dans le jeu de rôle et une autre qu'il n'y avait pas *"de positions très tranchées"*. Le jeu de rôle semble ainsi avoir donné l'impression aux élèves que les positions étaient relativement consensuelles. Certains élèves semblent de plus attendre des oppositions assez binaires dans les discours. Ceci peut être mis en perspective avec la tendance à prendre position pour les nanotechnologies des élèves actrices représentant le CENG et l'INRS lors du jeu de rôle ou encore avec le codage du débat en terme d'avantage/inconvénient des nanotechnologies que nous avions repéré au moins à deux reprises dans cette discussion.

Finalement, l'épuration des thèmes abordés dans le jeu de rôle se double d'une sorte de stylisation des prises de position qui donne l'illusion à certains élèves qu'il y aurait une sorte de consensus dans les débat soulevés par les nanotechnologies. La discussion qui termine la séance nous donne donc l'impression d'une réduction la complexité de la controverse, d'une part en polarisant le débat autour de certains thèmes et d'autre part en schématisant certains points de vue jusqu'à parfois les réduire à des prises de positions binaires : pour ou contre.

20.2.2 Du concret pour dépasser le flou et les généralités ?

Dans cette discussion concluant la séance, plusieurs élèves nous ont semblé demander "du concret". Ceci peut être mis en perspective d'abord avec le contenu du jeu de rôle. Dans cette discussion, il est arrivé que les élèves se réfèrent aux "nanotechnologies" de façon assez vague ou en ne permettant pas aux autres de bien saisir ce à quoi il se référait. Ce fut par exemple le cas des interventions de l'élève représentant la CNIL sur le contrôle des individus ou sur "les puces". Ce fut aussi le cas de certaines interventions de l'élève représentant l'Académie

de Médecine sur “les risques” ou encore du contenu de certaines prises de parole de l’élève représentant l’INRS sur la toxicité des “nanotechnologies”. Cette demande de concret n’est donc peut-être pas étrangère au flou de certaines interventions des élèves lors du jeu de rôle.

Par ailleurs, cette sensation d’un manque d’éléments concrets a peut-être été renforcée par le fait que dans la discussion finale, les élèves ont eu tendance à ne mobiliser que des idées relativement générales, sur un petit nombre de thèmes et sans s’appuyer précisément sur le contenu de leur cahier d’acteur ou sur des exemples précis de la discussion (hormis pour l’exemple des crèmes solaires qui semble avoir marqué les esprits).

Finalement, cette demande d’exemples concrets, notamment pour mieux comprendre ce que sont les nanotechnologies, nous semble pouvoir avoir deux effets.

D’abord, on peut imaginer que la curiosité des élèves ait été attisée par cette activité de jeu de rôle. La demande de concret nous semble alors être quelque de chose de positif puisqu’elle sonne comme une incitation pour les élèves à aller voir plus loin ce que sont les nanotechnologies et quelles sont les questions que ces développements posent.

Cependant, on peut aussi imaginer que cette manière de déplorer l’absence “d’éléments concrets” risque de conduire à les élèves à la conclusion que des élèves comme eux ne sont pas à même de saisir ce que sont les nanotechnologies. N’ayant pas bien perçu au travers du jeu de rôle ce que sont les nanotechnologies, ils s’auto-déprécient et plutôt que de questionner plus avant cet objet, ils estiment que c’est là l’affaire de spécialistes. Dans une perspective d’éducation citoyenne, si les élèves aboutissent à cette conclusion, il nous semble que cela signe l’échec de notre de dispositif d’enseignement sur les controverses nanos.

20.2.3 Quelques réflexions sur la mise en œuvre de cette activité de jeu de rôle

Pour conclure cette analyse de la discussion finale éclairée par celle du jeu de rôle nous voudrions encore exposer trois réflexions.

La première est que le jeu de rôle a eu ici une influence importante sur le positionnement des élèves. Dans la mesure où cette mise en scène des acteurs représentant diverses organisations propose aux élèves un éventail des prises de positions et des arguments sur les questions soulevées par les développements des nanotechnologies, le jeu de rôle cadre le débat qui suit. Ainsi, si le jeu de rôle donne une vision partielle et lacunaire du paysage des thématiques abordées et des prises de position adoptées, cette réduction des débats nous semble avoir toutes les chances de se retrouver et de se renforcer dans la discussion suivant le jeu de rôle, comme ce fut le cas ici.

Aussi, pour que le jeu de rôle soit bien achalandé et ouvre de nombreuses pistes de réflexion, il nous semble que le rôle du gestionnaire de la discussion est très important. Il faut qu’il maîtrise sur le bout des doigts le contenu des cahiers d’acteurs distribués aux élèves pour relancer les élèves-acteurs aux moments opportuns. Il faut également qu’il ait acquis un certain doigté pour conduire ce genre de discussion, en encourageant les élèves à expliciter au maximum leurs prises de positions et leurs arguments. Il faut enfin qu’il incite les élèves à mettre en perspective leurs positionnements pour que l’auditoire cerne précisément quels sont les objets de la discussion.

Il est possible ici que notre gestion de la discussion soit en partie responsable de l’aperçu fragmentaire des controverses soulevées par les nanotechnologies qu’ont eu les élèves au travers du jeu de rôle.

La deuxième réflexion que nous inspire cette mise en perspective des thèmes abordés par les élèves dans la discussion post-jeu de rôle est qu’il est possible que le jeu de rôle n’ait pas permis aux élèves de se détacher d’idées préconçues qu’ils avaient déjà auparavant.

Ainsi, au lieu d'imaginer que dans la discussion post-jeu de rôle, les élèves n'ont fait que décalquer certaines des prises de positions et certains des arguments qu'ils ont entendus lors du jeu de rôle, on peut aussi imaginer que l'inverse s'est produit. Il est possible qu'ici les élèves aient déjà avancé en partie lors du jeu de rôle leurs points de vue personnels, opérant par là-même une sélection des thèmes et des arguments mis en avant. Ils n'auraient alors fait que réaffirmer dans la discussion finale certaines leurs prises de positions déjà esquissées dans le jeu de rôle.

Cette hypothèse d'un jeu de rôle marqué par les points de vue personnels des élèves nous semble souligner deux points importants pour la mise en œuvre du jeu de rôle. D'abord les consignes de préparation doivent être suffisamment claires pour éviter ce genre de dérapage. Les élèves doivent avoir en tête lors du jeu de rôle que l'on attend d'eux une restitution du contenu du cahier d'acteur et non l'expression de leurs opinions personnelles. Ensuite, le gestionnaire du débat ne doit pas accepter ces déviations par rapport au contenu des cahiers d'acteurs. Là encore, cela implique qu'il ait une connaissance très précise du contenu des documents distribués aux élèves au moment d'encadrer le jeu de rôle.

Enfin, la dernière idée que nous voudrions développer concerne la place du jeu de rôle dans une séquence pédagogique plus large sur les controverses soulevées par les développements des nanotechnologies. Il nous semble que cette activité a suscité un engagement important des élèves. Toutefois, notre analyse a pointé un certain nombre d'écueils auxquels pouvait se heurter cette activité et notamment le risque d'occulter des pans entiers des débats soulevés par les nanotechnologies. Aussi pour éviter une polarisation autour des perspectives ouvertes sur la médecine et de la préservation de l'environnement, il nous semble important, suite à ce jeu de rôle de proposer une autre activité réintroduisant "de force" la complexité de la controverse et permettant aux élèves de creuser plus en profondeur les questionnements esquissés dans le jeu de rôle.

Résumé

Cette thèse en éducation aux sciences s'intéresse d'une part à la manière dont des lycéens peuvent comprendre les controverses soulevées par les nanotechnologies et d'autre part à la façon dont ils prennent de la distance face aux discours portés par différents acteurs sur ces développements technoscientifiques.

Une analyse des controverses menée en utilisant des méthodologies de sociologie des sciences nous a d'abord permis de mettre en évidence que ce ne sont pas seulement les productions issues des nanotechnologies qui sont questionnées dans les débats sur les nanotechnologies en France. La manière dont ces programmes technoscientifiques existent et sont mis en œuvre dans nos sociétés démocratiques est également interrogée voire remise en cause. Cette analyse épistémologique et sociologique de la controverse a orienté l'élaboration d'une séquence pédagogique, suivant l'approche des recherches "*design-based*". Les activités qui la composent ont été construites au travers d'un travail mené au lycée avec quatre classes de première S (élèves âgés de 15-17 ans). Elles s'articulent autour d'un jeu de rôle, d'une recherche documentaire et d'une séance de synthèse aboutissant à un document résumant le positionnement de la classe sur les nanotechnologies.

L'analyse des productions orales et écrites des élèves a été effectuée d'une part, en utilisant le modèle de scolarisation des controverses socioscientifiques d'Albe (2007) afin de caractériser la compréhension collective que les élèves avaient de la controverse. Nous nous sommes ainsi intéressés aux savoirs qu'ils mobilisaient dans leurs interventions et leurs écrits. D'autre part, nous avons caractérisé leur prise de distance par rapport aux discours qu'ils rencontraient, notamment en identifiant les éventuelles argumentations fallacieuses dans leurs prises de paroles. Nous nous sommes pour cela appuyés sur la théorie pragma-dialectique de l'argumentation de van Eemeren et Grootendorst (1996, 2004). Ces analyses ont montré que les élèves s'étaient emparés d'une diversité d'aspects de la controverse. Ils se sont montrés capables de comprendre des documents directement issus de l'espace social et de questionner certains discours portés sur les nanotechnologies, en particulier les discours qu'ils percevaient comme des discours d'acceptabilité. Au moment de formuler leur avis, les lycéens ont eu cependant tendance à reproduire un discours vague et consensuel stipulant que le développement des nanotechnologies est bénéfique mais qu'il existe des "risques à prendre compte", et qu'il faut informer le public.

Mots-clés : Nanotechnologies - Question socioscientifique - Enseignement secondaire - Recherches "design-based"

Abstract

The purpose of this manuscript is to characterize the ways highschool students can grasp nanotechnologies controversies and to identify how they critically consider different discourses held by different actors about these technoscientific developments.

As a first step, we completed an analysis of the controversies raised in France by nanotechnologies. It showed that in addition to questions about the products of nanotechnologies and their effects, the ways nanotechnologies' programs are developped and currently exist in our societies constitute a bone of contention. We used this epistemological and sociological analysis of the controversies as a touchstone to progressively design a set of school activities. To elaborate them, we also resorted to a design-based research approach and implemented them with four groups of about 30 15-17 years old students. The final pedagogical sequence consisted of a role play, a webquest and a last activity were students completed a text summarizing their collective stance on nanotechnologies developments.

The analysis of students' oral and written productions that we have carried out, is twofold. In order to characterize their collective understanding of the controversies raised by nanotechnology, we analyzed the contents of students' interventions by using Albe's (2007) model on schooling socioscientific controversies. Moreover, attention was paid on how students' critically consider discourses on nanotechnology, in particular by identifying fallacies in their argumentation. This was performed following a pragma-dialectical approach of argumentation (van Eemeren and Grootendorst, 1996, 2004). These analyses showed students grasped many aspects of the controversy. They proved able to understand some documents directly emanating from the social space. They also critically discussed some discourses held on nanotechnologies, in particular the ones they regarded as acceptability discourses. However, when expressing their opinions, students tended to reproduce a common and vague stance asserting that nanotechnologies developments is to breed benefits but also entails some "risks that have to be taken into account" and that the public has to be informed about them.

Keywords : Nanotechnology - Socioscientific issue - Secondary school - Design-Based Research