



HAL
open science

Analyses de pratiques d'enseignement de savoirs de la physique stabilisés (l'énergie) et controversés (le changement climatique)

Nicolas Hervé

► **To cite this version:**

Nicolas Hervé. Analyses de pratiques d'enseignement de savoirs de la physique stabilisés (l'énergie) et controversés (le changement climatique). Education. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2012. Français. NNT : 2012TOU20107 . tel-00776520

HAL Id: tel-00776520

<https://theses.hal.science/tel-00776520v1>

Submitted on 15 Jan 2013

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 Toulouse

THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Université Toulouse 2 Le Mirail (UT2 Le Mirail)

Présentée et soutenue par :
Nicolas HERVÉ

Le lundi 22 Octobre 2012

**Analyses de pratiques d'enseignement de savoirs de la physique stabilisés
(l'énergie) et controversés (le changement climatique)**

Tome 1

ED CLESCO : Sciences de l'éducation

Unité de recherche :

UMR Education Formation Travail Savoirs (EFTS)

Directeurs de Thèse :

Monsieur Patrice VENTURINI, Professeur des Universités, Université de Toulouse II - Le Mirail
Madame Virginie ALBE, Professeure des Universités, Ecole Nationale Supérieure de Cachan

Rapporteurs :

Madame Marie LAROCHELLE, Professeure des Universités, Université Laval (Québec)
Madame Andrée TIBERGHEN, Directrice de recherche émérite CNRS, Ecole Nationale Supérieure de Lyon

Autres membres du jury :

Monsieur Jean-Marie BOILEVIN, Professeur des Universités, Université de Rennes 2
Monsieur Jean-François MARCEL, Professeur des Universités, Ecole Nationale de Formation Agronomique

Remerciements

Je remercie tout d'abord les enseignants et leurs élèves qui ont accepté d'être filmés. Sans eux, ce travail n'aurait pas pu être fait et il n'aurait même aucun sens... Comme le disait Jaurès, « on ne peut enseigner que ce que l'on est » : c'est donc une partie d'eux qu'ils m'ont offert et je leur en suis reconnaissant.

Je remercie bien évidemment Patrice Venturini, qui m'a guidé, conseillé et encouragé dans ce travail, avec une disponibilité que je souhaite à tous les doctorants. J'ai beaucoup appris à son contact, d'un point de vue scientifique et humain.

Je suis également reconnaissant à Virginie Albe, qui m'a initié à la didactique des sciences et aux QSV. J'ai toujours puisé dans nos échanges une stimulation intellectuelle et une source de motivation.

Je remercie l'Ecole Nationale de Formation Agronomique (ENFA), dont les différents membres ont toujours eu le souci de rendre compatible mon travail de formation et de recherche. Je considère que j'ai une chance inouïe d'appartenir à la communauté de l'enseignement agricole. Je tiens tout particulièrement à remercier Brigitte Laquière, ancienne directrice de l'ENFA, qui a rendu possible mon aventure au sein de l'ENFA.

Je remercie mes plus proches collègues, Christine Ducamp, Laurent Fauré et Guillaume Gillet, qui m'ont encouragé dans les moments difficiles et ont toujours manifesté de l'intérêt pour ce travail.

Enfin, mes plus vifs remerciements à ma famille, et à Stéphanie et Itza qui ont supporté cette épreuve au quotidien...

Sommaire

INTRODUCTION	9
PARTIE 1 : DES DÉFIS POUR L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES DU XXI^{ÈME} SIÈCLE	13
1. ENSEIGNER LES SCIENCES ET LES TECHNIQUES : UN ENJEU POUR LA SOCIÉTÉ	15
1.1 L'essor des technosciences	15
1.2 L'enseignement des sciences et des techniques dans un monde technoscientifique	19
Résumé du chapitre 1.....	23
2. L'ESSOR D'UN NOUVEAU COURANT ÉDUCATIF	25
2.1 La promotion d'une culture scientifique.....	25
2.2 L'émergence d'un nouveau courant éducatif	28
Résumé du chapitre 2.....	32
3. LES RECHERCHES SUR LES CONTROVERSES SOCIOSCIENTIFIQUES EN MILIEU SCOLAIRE : UN ÉTAT DES LIEUX	33
3.1 Recherches sur l'apprentissage de/par une controverse socioscientifique.....	33
3.2 Recherches sur l'enseignement de/par une controverse socioscientifique	43
Résumé du chapitre 3.....	50
4. ÉCOLOGIE DES SITUATIONS D'APPRENTISSAGE / ENSEIGNEMENT DE / PAR LES CONTROVERSES SOCIOSCIENTIFIQUES : LA QUESTION DE L'HABITAT	51
4.1 Notion d'écologie des savoirs	51
4.2 La liaison de la « science en action » et de la « science faite » dans l'enseignement des sciences : une question complexe.....	52
4.3 L'enseignement de/par des controverses socioscientifiques : quel habitat en milieu scolaire ?	54
Résumé du chapitre 4.....	54

**PARTIE 2 : « SCIENCE FAITE » ET « SCIENCE EN ACTION » :
DEUX EXEMPLES DANS L'HISTOIRE ET DANS L'ENSEIGNEMENT
ACTUEL DE LA PHYSIQUE 55**

**5. L'ÉNERGIE COMME EXEMPLE DE « SCIENCE FAITE » : UNE
ANALYSE HISTORIQUE, ÉPISTÉMOLOGIQUE ET DIDACTIQUE DU
CONCEPT D'ÉNERGIE..... 57**

5.1 Histoire du concept d'énergie..... 57

5.2 L'énergie dans les programmes de Physique qui correspondent à notre champ
d'étude 66

5.3 Les recherches en didactique de la physique sur le concept d'énergie..... 67

Résumé du chapitre 5..... 72

**6. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE COMME EXEMPLE DE
« SCIENCE EN ACTION » : ANALYSE HISTORIQUE,
ÉPISTÉMOLOGIQUE ET DIDACTIQUE DU CHANGEMENT
CLIMATIQUE 73**

6.1 Histoire du changement climatique en tant qu'objet scientifique 73

6.2 Le changement climatique : des controverses médiatisées..... 80

6.3 Le changement climatique dans les programmes de Physique 86

6.4 Le changement climatique : des recherches en didactique 86

Résumé du chapitre 6..... 91

PARTIE 3 : ANALYSER LES PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT : UN MODÈLE ET DES OUTILS THÉORIQUES 93

7. MODÉLISER LES PRATIQUES ENSEIGNANTES 95

7.1 La pratique de classe : enseigner et apprendre 95

7.2 Comment décrire la pratique de l'enseignant ?..... 97

7.3 Épistémologie de l'enseignant et pratique d'enseignement : l'épistémologie pratique 106

Résumé du chapitre 7..... 112

8. COMMENT CARACTÉRISER L'ACTION LANGAGIÈRE DE L'ENSEIGNANT ? 113

8.1 L'action de l'enseignant : une action principalement verbale..... 113

8.2 L'analyse communicationnelle 116

8.3 L'analyse didactique des jeux de langage 123

Résumé du chapitre 8..... 126

9. PROBLÉMATIQUE 127

Résumé du chapitre 9..... 129

PARTIE 4 : MÉTHODOLOGIE 131

10. MÉTHODOLOGIE 133

10.1 Principes généraux 133

10.2 Un processus de collecte de traces..... 135

10.3 Le processus de traitement des traces : la construction de signes 140

10.4 La production de configurations signifiantes : un jeu de langage du chercheur 153

Résumé du chapitre 10..... 159

PARTIE 5 : RÉSULTATS	161
11. ANALYSE DE LA SÉANCE A₁	163
11.1 Construction des signes à partir du corpus principal - Synopsis de la séance	163
11.2 Caractéristiques de l'action conjointe dans la séance A ₁	169
11.3 La nature des savoirs enseignés	187
11.4 Conclusion : un tableau de la pratique de l'enseignant A dans la séance A ₁	206
12. ANALYSE DE LA SÉANCE A₂	209
12.1. Construction des signes à partir du corpus principal - Synopsis de la séance ...	209
12.2. Caractéristiques de la pratique de l'enseignant A dans la séance A ₂	218
12.3 La nature des savoirs enseignés	235
12.4 Conclusion : un tableau de la pratique de l'enseignant A dans la séance A ₂	262
13. ANALYSE DE LA SÉANCE B₁	267
13.1. Construction des signes à partir du corpus principal - Synopsis de la séance ...	267
13.2. Caractéristiques de la pratique de l'enseignant B dans la séance B ₁	272
13.3 La nature des savoirs enseignés	290
13.4. Conclusion : un tableau de la pratique de l'enseignante B dans la séance B ₁	304
14. ANALYSE DE LA SÉANCE B₂	309
14.1. Construction des signes à partir du corpus principal - Synopsis de la séance ...	309
14.2 Caractéristiques de la pratique de l'enseignante B dans la séance B ₂	313
14.3 La nature des savoirs enseignés	330
14.4. Conclusion : un tableau de la pratique de l'enseignante B dans la séance B ₂	347
15. CONCLUSION DES ANALYSES : UNE SYNTHÈSE.....	351
15.1 Séance A ₁	351
15.2 Séance A ₂	352
15.3 Séance B ₁	353
15.4 Séance B ₂	354

PARTIE 6 : DISCUSSION ET CONCLUSION	355
16. DISCUSSION DES RÉSULTATS	356
16.1 Discussion des résultats : une approche comparatiste	357
16.2 Discussion des résultats : une approche critique.....	374
17. CONCLUSION.....	385
17.1 Rappels des principaux résultats	385
17.2 Perspectives envisagées	386
BIBLIOGRAPHIE	389
TABLE DES MATIÈRES	403

Introduction

Ce travail s'inscrit dans un contexte où le développement actuel des technosciences conduit à une montée en puissance du rôle de l'expertise scientifique dans la prise de décision politique. Nous montrons alors dans **la première partie** de notre manuscrit que ce processus affecte l'enseignement des sciences et des techniques dans le sens où celui-ci se retrouve en décalage avec l'évolution à la fois des pratiques scientifiques (en termes de construction d'expertises) et du circuit de la prise de décision politique sur des questions sociales mettant en jeu des développements scientifiques et techniques. L'essor des technosciences pose donc la question de la formation des citoyens à leur fonctionnement et gouvernance ([chapitre 1](#)).

Il s'ensuit qu'un nouveau courant éducatif se structure, dans le monde anglophone et francophone, pour critiquer l'enseignement actuel des sciences et des techniques et pour promouvoir de nouvelles formes scolaires fondées sur une culture scientifique pour l'usage du citoyen ([chapitre 2](#)). Des recherches se développent dans ce cadre pour étudier l'introduction en classe de situations mettant en jeu des controverses socioscientifiques. Les objets de ces recherches concernent l'apprentissage des élèves et plus récemment l'enseignement de ces controverses ([chapitre 3](#)). Toutefois, l'introduction d'un enseignement lié à la nature sociale de l'activité scientifique reste marginale dans l'enseignement des sciences et des techniques. Nous posons par conséquent la question des conditions « écologiques » de viabilité de cet enseignement au sein d'un enseignement majoritairement « traditionnel » ([chapitre 4](#)). Nous abordons cette question en partant des pratiques ordinaires d'enseignement de la physique : qu'est-ce qui peut faciliter ou freiner un tel enseignement dans la pratique d'un enseignant ?

Pour fonder notre étude empirique, nous contextualisons cette question à deux savoirs particuliers dans **la deuxième partie** de notre étude. Nous justifions tout d'abord notre choix de considérer *l'énergie* comme un savoir relevant d'une science faite ([chapitre 5](#)), en analysant les conditions historiques, épistémologiques et didactiques de l'émergence de ce concept et de son enseignement. Nous décrivons ensuite comment *la problématique du changement climatique* est un exemple de science en action, en analysant également les conditions historiques, épistémologiques et didactiques liées à cet objet de savoir et à son enseignement ([chapitre 6](#)).

Notre travail vise à décrire et comprendre des pratiques d'enseignement de l'énergie et du changement climatique. Nous présentons alors dans **la troisième partie** de notre travail de thèse les outils théoriques que nous utilisons par la suite pour décrire les pratiques enseignantes, notamment la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD). Nous nous intéressons particulièrement à l'épistémologie pratique de l'enseignant que nous définissons à la suite de la TACD et des travaux anglo-saxons sur la Nature of Science (NOS) comme intrication de théories plus ou moins implicites sur les savoirs scientifiques et sur les sciences, sur leur apprentissage et leur enseignement telles qu'elles s'actualisent dans la pratique ([chapitre 7](#)). Pour décrire l'action des enseignants et cette épistémologie pratique, nous complétons le cadre théorique de la TACD par deux autres cadres d'analyse qui rendent compte de l'action langagière de l'enseignant : l'analyse communicationnelle et les jeux de langage ([chapitre 8](#)). Nous formulons alors nos questions de recherche, qui portent sur la comparaison de l'action conjointe dans une séance d'enseignement de l'énergie et du changement climatique. Il s'agit alors de décrire les éléments génériques et spécifiques aux deux séances, puis de comprendre le rôle de l'épistémologie pratique en tant que déterminant de la pratique ([chapitre 9](#)).

Nous présentons dans **la quatrième partie** la méthode suivie : il s'agit d'une démarche clinique / expérimentale, dans laquelle deux enseignants sont suivis avec une de leurs classes. Deux séances sont filmées pour chaque enseignant, l'une sur l'énergie et l'autre sur le

changement climatique. Nous détaillons notre protocole de recherche, depuis le recueil des données jusqu'à la construction de nos interprétations (chapitre 10).

La cinquième partie consiste en la description des séances analysées : nous formulons alors un tableau de l'action conjointe des deux enseignants A et B dans les deux séances sur l'énergie et le changement climatique (chapitres 11 à 14). Nous résumons alors nos conclusions en fin de partie (chapitre 15).

Nous discutons les résultats obtenus dans **la sixième partie** et revenons tout d'abord à nos questions de recherche. Nous croisons ainsi nos analyses de séances de façon à comparer l'épistémologie pratique mise en œuvre dans les deux séances par un même enseignant, puis nous comparons l'épistémologie pratique des deux enseignants pour un même objet d'enseignement. Nous discutons ensuite l'intérêt de notre travail à l'aune des travaux existants, les limites de notre étude notamment d'un point de vue méthodologique, puis revenons sur les apports théoriques que nous soumettons à la réflexion, notamment l'intégration d'une dimension éducative à l'épistémologie pratique et la mobilisation d'outils issus de la philosophie du langage de Wittgenstein (chapitre 16).

Nous concluons finalement notre travail, en mettant en avant les points importants et en proposant des perspectives de recherche et de formation (chapitre 17).

Partie 1 : Des défis pour l'enseignement des sciences du XXI^{ème} siècle

« La science, après tout, est notre créature, et non pas notre maîtresse ; ergo elle devrait être l'être l'esclave de nos caprices et non le tyran de nos désirs »

P.K. Feyerabend

Sommaire de la partie 1

1. ENSEIGNER LES SCIENCES ET LES TECHNIQUES : UN ENJEU POUR LA SOCIÉTÉ	15
1.1 L'essor des technosciences	15
1.2 L'enseignement des sciences et des techniques dans un monde technoscientifique	19
Résumé du chapitre 1.....	23
2. L'ESSOR D'UN NOUVEAU COURANT ÉDUCATIF	25
2.1 La promotion d'une culture scientifique.....	25
2.2 L'émergence d'un nouveau courant éducatif	28
Résumé du chapitre 2.....	32
3. LES RECHERCHES SUR LES CONTROVERSES SOCIOSCIENTIFIQUES EN MILIEU SCOLAIRE : UN ÉTAT DES LIEUX	33
3.1 Recherches sur l'apprentissage de/par une controverse socioscientifique.....	33
3.2 Recherches sur l'enseignement de/par une controverse socioscientifique	43
Résumé du chapitre 3.....	50
4. ÉCOLOGIE DES SITUATIONS D'APPRENTISSAGE / ENSEIGNEMENT DE / PAR LES CONTROVERSES SOCIOSCIENTIFIQUES : LA QUESTION DE L'HABITAT	51
4.1 Notion d'écologie des savoirs	51
4.2 La liaison de la « science en action » et de la « science faite » dans l'enseignement des sciences : une question complexe.....	52
4.3 L'enseignement de/par des controverses socioscientifiques : quel habitat en milieu scolaire ?.....	54
Résumé du chapitre 4.....	54

1. Enseigner les sciences et les techniques : un enjeu pour la société

L'objectif de ce chapitre est de montrer comment le développement des sciences et des techniques modifie profondément les liens sociaux (1.1) et interroge l'enseignement des sciences et des techniques (1.2).

Nous verrons tout d'abord que la définition du lien entre sciences et techniques a évolué au cours du XX^{ème} siècle et que l'on parle maintenant de « technosciences » (1.1.1). L'essor des technosciences a amené de tels bouleversements dans l'environnement quotidien de l'homme que les réflexions ont été nombreuses pour décrire cette évolution (1.1.2.) et questionner la gouvernance du fonctionnement des technosciences (1.1.3).

Ce processus historique touche l'enseignement des sciences et des techniques, qui est décrit en crise par les rapports institutionnels (1.2.1). Cette crise est ressentie différemment suivant les acteurs du système éducatif (1.2.2), mais les critiques faites à l'enseignement des sciences et des techniques relèvent que celui-ci est en décalage avec les enjeux associés au développement d'une société devenue technoscientifique (1.2.3).

1.1 L'essor des technosciences

Le mot « technosciences » est très utilisé par les penseurs des sciences et des techniques : il appartient maintenant à la langue des sociologues, historiens et philosophes, pour décrire la nature des sciences et techniques depuis la deuxième moitié du XX^{ème} siècle. Il convient de s'arrêter un instant sur la définition de ce terme relativement récent (1.1.1). Nous nous intéressons ensuite à la manière dont les technosciences « performant » le social (1.1.2) et développons les questions que pose la gouvernance démocratique de leur développement (1.1.3).

1.1.1 Définition des technosciences

Selon Albe (2009a, p. 47), en référence à Hottois (2005, p. 8), « le terme « techno(-)science » est utilisé pour exprimer le caractère indissociable des sciences et des technologies dans les recherches contemporaines ».

Les technosciences transforment en effet profondément le tissu social des sociétés contemporaines : « nos prédécesseurs n'avaient pas envisagé que le développement des sciences pourrait les rendre coextensives au reste des interactions sociales. Mais ce qu'ils désignaient par « société » a connu une transformation qui ne fut pas moins radicale, en partie à cause de la place grandissante occupée par les résultats de la science et de la technique » (Latour, 2005, p. 9).

On peut définir 3 caractéristiques des technosciences (Latour, 1989) :

- Elles se comportent comme des entreprises militaires¹. Comme des entreprises, car il y a une connexion essentielle entre technique et richesse : un dispositif technique coûte cher mais en contrepartie il peut permettre une plus-value qui renforce encore sa performance : « c'est à ce moment précis que la science devient une force de production, c'est-à-dire un moment dans la circulation du capital » (Lyotard, 1979, p. 74). C'est par conséquent le désir de profit plus que celui de savoir qui anime les technosciences. Elles se comportent comme une institution militaire dans le sens où plus une technoscience est puissante, plus elle transforme le social.
- Les technosciences produisent une vision du monde, qui étend leurs possibilités d'action sur ce monde. C'est dans cet esprit que Lyotard (1979, p. 77) écrit : « l'horizon de cette procédure est celui-ci : la « réalité » étant ce qui fournit les preuves pour l'argumentation scientifique et les résultats pour les prescriptions et les promesses d'ordre juridique, éthique et politique, on se rend maître des unes et des autres en se rendant maître de la « réalité », ce que permettent les techniques. En renforçant celles-ci, on « renforce » la réalité, donc les chances d'être juste et d'avoir raison. Et, réciproquement, on renforce d'autant mieux les techniques que l'on peut disposer du savoir scientifique et de l'autorité décisionnelle ».
- Elles sont complexes car elles mettent en jeu un réseau de multiples acteurs aux visées différentes et parfois contradictoires : des chercheurs, des ingénieurs, des techniciens, des commerciaux, des juristes, des banques, etc. C'est ainsi que Latour (1989, p. 604) écrit que « de toutes les caractéristiques des technosciences, je trouve que cette capacité à étendre les réseaux, à entretenir ces liaisons d'aller et de retour est la plus intéressante à étudier ; c'est celle qui est à la fois la plus ingénieuse et la plus négligée ». De même, pour Hottois (2006, p. 26), « l'histoire des technosciences est, en grande partie, celle de l'extension de ces réseaux ».

Les technosciences relèvent par conséquent de « la science en action » et elles associent de plus en plus d'acteurs à leur développement. Comme l'écrit Hottois (2006, p. 31), « la focalisation sur les produits et les artefacts, sur les actions transformatrices de la nature et de la société, ainsi que le développement des moyens d'information et de communication entraînent que la science apparaît de plus en plus comme l'affaire de tout le monde : de chaque citoyen dans la démocratie, de chaque consommateur ou usager sur le marché ».

L'extension du champ d'action des technosciences a alors pour conséquence que les faits scientifiques ne sont plus disputés dans le microcosme des scientifiques mais deviennent des enjeux de lutte entre acteurs de la société : la science crée alors des interprétations multiples du monde et donc de l'incertitude.

1.1.2 La performance sociale des technosciences

Les technosciences, en étendant leur possibilité d'action sur le monde, modifient les liens sociaux. Pour décrire précisément cette modification des liens sociaux, Callon (1999) reprend et adapte le concept linguistique de performativité (Austin, 1962)², selon lequel un énoncé est

¹ Latour (1989) utilise la métaphore de la guerre et du combat pour décrire les technosciences et la justifie : « j'ai utilisé ces termes parce qu'on peut considérer que, en gros, les technosciences font partie de la machine de guerre et doivent être étudiées comme telles » (p. 415). Désautels (2002) écrit de la même façon que « l'on a bel et bien montré que les technosciences sont parfaitement intégrées au complexe militaro-industriel capitaliste » (p. 191). Par prudence, nous préférons écrire qu'il y a une similarité de fonctionnement entre ces deux entreprises humaines.

² Austin (1962). *Quand dire c'est faire*. Paris : Seuil.

dit performatif quand il réalise lui-même ce qu'il énonce³. Ces énoncés ont en effet la propriété d'agir sur le monde et de le transformer. Ainsi, les technosciences « performant » le social et « on n'a pas à replacer la science dans son « contexte social », parce que les objets de la science eux-mêmes contribuent à disloquer tout contexte donné par l'introduction d'éléments nouveaux que les laboratoires de recherche associent de façon imprévisible » (Latour, 2005, p. 14).

La performance sociale des technosciences peut être décrite à l'aide de la théorie sociologique de l'acteur-réseau de Callon et Latour : l'association d'acteurs humains et non-humains (par exemple les objets) produit des liens sociaux, « il est facile de voir que les objets mènent une vie multiple et complexe à travers des réunions, des plans, des esquisses, des régulations et des épreuves. Ils s'y présentent totalement mêlés à d'autres formes d'existence que l'on n'a aucune peine à qualifier de sociale » (Latour, 2005, p. 115). L'essor très rapide des technosciences, en multipliant les nouvelles possibilités d'association entre humains, entre objets et humains, et entre objets⁴, suscitent à la fois des espoirs et des critiques.

Les technosciences sont en effet au centre de mondes imaginaires développés par la littérature ou le cinéma, dans lesquels l'humanité se débat dans un futur autant émancipateur qu'aliénant⁵. Comme l'écrit Pinsart (2006, p. 81) : « structures sociales, environnement, villes, moyens de subsistance, types de transport, apparence physique, sentiments ou longévité de l'existence sont imaginés avec une puissance novatrice largement associée à une haute technologie ». Les promesses portées par les technosciences sont en effet séduisantes : des progrès médicaux (thérapie génique) aux possibilités offertes par les nouveaux matériaux (nanotechnologies), l'imagination même semble pauvre à côté des possibilités technoscientifiques.

Des réflexions s'élèvent toutefois chez les intellectuels contemporains pour penser de façon critique la performance sociale des technosciences.

Il est possible de trouver de telles critiques dans le courant postmoderne, qui se caractérise par « l'incrédulité à l'égard des méta-récits » (Lyotard, 1979, p. 7), tels que les « (...) récit marxiste de l'émancipation de l'exploitation et de l'aliénation par la socialisation du travail, récit capitaliste de l'émancipation de la pauvreté par le développement techno-industriel » (Lyotard, 1986, p. 41). Ce courant discute et interroge ainsi l'idée de « progrès » apportée par les technosciences. Pour l'urbaniste et philosophe Virilio, les technosciences, par l'ampleur de leur développement, amènent à repenser la notion de catastrophe et d'accident, dont les manifestations changent d'échelle. Il écrit ainsi en 2002 (p. 80) que « l'accident est la face cachée du progrès scientifique et technique ». Les développements des TIC, l'effondrement de l'objectivité de la mécanique quantique, les évolutions des biotechnologies plongent l'homme contemporain dans un monde artificiel constitué de simulacres pour Baudrillard (1990, p. 49), « l'enjeu de la technique et des sciences semble être plutôt de nous affronter à un monde définitivement irréel, au delà de tout principe de vérité et de réalité ».

Le philosophe Dupuy (2002) développe également une critique radicale des technosciences. Sa position, dite de « catastrophisme éclairé », consiste à accepter l'inéluctabilité de la catastrophe qu'elles causent et à proposer des outils théoriques pour faire face aux changements actuels. Il remet par exemple en question le principe de précaution, inefficace

³ Un exemple emblématique est celui du mariage où l'énoncé performatif est « je vous déclare mari et femme ».

⁴ Par exemple : les réseaux sociaux produisent de nouvelles possibilités d'association entre êtres humains, les OGM et les nanotechnologies sont des objets dont l'association avec les humains renouvelle notre rapport au vivant ou à la matière, les progrès de l'automatisme et de l'informatique ont conduit à de nouvelles associations entre objets.

⁵ Nous pensons dans ce cas à la littérature de science-fiction, dont les représentants les plus célèbres sont certainement P.K. Dick et I. Asimov. Leur œuvre montre bien en effet comment un monde technoscientifique riche de promesses pour l'humanité peut sombrer dans la catastrophe.

selon lui à accompagner le mouvement des technosciences et propose une approche alternative pour changer les comportements, fondée sur une conception métaphysique du « temps de projet ».

Les technosciences reconfigurent l'espace social, c'est-à-dire la façon dont les hommes vivent en société, entre eux. Ce sont par conséquent les liens que les hommes établissent entre eux qui sont modifiés, et, à travers ces liens, c'est l'identité des hommes, leur humanité, qui est en jeu. C'est dans cet esprit que Lyotard (1986, p. 35) écrit que « la technoscience actuelle accomplit le projet moderne : l'homme se rend maître et possesseur de la nature. Mais en même temps, elle le déstabilise profondément : car sous le nom de « nature », il faut compter aussi tous les constituants du sujet humain : son système nerveux, son code génétique, son computer cortical, ses capteurs visuels, auditifs, ses systèmes de communication, notamment linguistiques, et ses organisations de vie en groupe, etc. ».

Cette mutation de l'humain est ainsi la conséquence d'un nouveau rapport que l'homme entretient au cosmos, aux autres êtres humains et à lui-même via une extension technique de ses possibilités d'action sur le monde.

1.1.3 Le défi démocratique d'un monde technoscientifique

Ce qui est souvent reproché aux technosciences, c'est l'autonomie de leur projet social : seule une minorité, les « experts », est habilitée à prendre des décisions en vertu de ses savoirs, alors que les conséquences de leur projet sont supportées par tout être humain. C'est ce qu'écrivent les chercheurs en éducation aux sciences Patronis, Potari & Spiliotopoulou (1999, p. 745) : « a society which is (or is going to be) based on advanced technology faces a specific problem of democracy, as only a limited group of people seem now to be able to manage the complexity of scientific and technological knowledge ».

C'est « dans ce contexte, [qu']ont émergé depuis les années 1970 des critiques de la modernité technocratique dans le champ de la réflexion sociologique et philosophique et des pratiques sociales et une volonté de réappropriation citoyenne des choix technoscientifiques. Ces approches ont en commun l'idée que les problèmes générés par les technosciences ne peuvent être résolues par les technosciences » (Albe, 2009a, p. 50).

Ces problèmes engendrés par les technosciences se sont imposés dans l'univers médiatique par de spectaculaires accidents, comme par exemple des accidents nucléaires (Tchernobyl en 1986, Fukushima, 2011), chimiques (Bhopal en 1984) ou bien écologiques (les marées noires récurrentes). Ces accidents ont amené l'idée que les technosciences « deviennent en toute légitimité l'affaire de tous les citoyens et de toutes les citoyennes » (Larochelle & Désautels, 2006, p. 67), car les conséquences des problèmes qu'elles peuvent engendrer sont partagées par beaucoup de personnes. La « performance » sociale des technosciences pose la question cruciale suivante : qui décide de l'usage de telle ou telle technique ? Cette question d'ordre politique peut se reformuler : qui a le *pouvoir* de décider des performances sociales des technosciences ?

Si le monde politique prend des décisions dans le domaine des technosciences (par exemple dans le financement des innovations, la mise à jour des réglementations, la participation à des procès, etc.), c'est en s'appuyant sur des savoirs particulier : les expertises. Roqueplo (1997, p. 31) écrit ainsi que « la puissance publique, sommée d'édicter des normes, de résoudre les crises environnementales et de pallier les risques de tous ordres, devient progressivement l'interlocuteur principal et le premier « client » des scientifiques ». La prise de décisions du politique est coordonnée avec la prise d'informations auprès d'experts.

L'espace public devient ainsi le champ d'une lutte de légitimité : légitimité scientifique des « experts », dont le savoir fait autorité dans la prise de décision du politique, contre légitimité sociale des citoyens, qui élisent les représentants qui prennent les décisions politiques. En effet, s'il apparaît normal que le monde politique fonde son action en s'informant, la place des citoyens est questionnée : quelle action peut avoir le citoyen à la fois dans le contrôle de l'expertise, et dans la prise de décision politique ?

On se tromperait donc en pensant que cette lutte de pouvoir se fait *entre* les technosciences et la société civile, il s'agit en fait d'une lutte *au sein* de la société : quel projet social et quelle citoyenneté promouvoir dans une société devenue technoscientifique ?

L'ampleur de la performance sociale des technosciences pose donc la question de leur gouvernance : comment doit se décider le développement des technosciences ? C'est alors l'intégration du citoyen dans le circuit de la prise de décision fondée sur l'expertise scientifique qui constitue un défi démocratique.

Nous percevons donc que la question politique de la gouvernance des technosciences a partie liée avec une question éducative : comment le citoyen peut-il apprendre à participer à la prise de décisions en mobilisant des expertises scientifiques ?

Toutefois, le développement des technosciences ne pose pas uniquement la question du rôle du citoyen dans l'action publique, il bouscule également celui du scientifique : le temps de la décision politique n'est généralement pas le temps de la recherche scientifique et pourtant le scientifique est de plus en plus sollicité à participer à la prise de décision politique (Roqueplo, 1997). La question de la formation à la citoyenneté dans un monde devenu technoscientifique se double donc d'une formation à l'expertise scientifique.

Nous questionnons donc maintenant l'enseignement des sciences et des techniques : comment relève-t-il ce double défi, de formation à la citoyenneté et de formation à l'expertise scientifique ?

1.2 L'enseignement des sciences et des techniques dans un monde technoscientifique

Cette partie nous sert à décrire quelques propriétés de l'enseignement actuel des sciences et des techniques, dans un contexte de fort développement des technosciences.

Nous constaterons tout d'abord que l'enseignement actuel des sciences et des techniques est déclaré en crise par différents rapports institutionnels, car les études scientifiques et techniques sont désaffectées par les étudiants (1.2.1). Nous donnerons alors quelques éléments d'éclairage de cette situation, en présentant brièvement les points de vue de différents acteurs de l'école (1.2.2). Dans ce cadre, nous développerons les critiques faites à la forme scolaire de l'enseignement des sciences et des techniques (1.2.3).

1.2.1 La crise de l'enseignement des sciences et des techniques

Si les technosciences s'immiscent dans les moindres recoins de notre vie quotidienne, il est frappant de noter que les élèves ou étudiants ne s'engagent pas majoritairement dans des études scientifiques ou techniques. Plusieurs rapports depuis le début du XXI^e siècle font ainsi

état d'une désaffection des élèves ou étudiants pour les filières scientifiques et en particulier pour les sciences physiques et chimiques. Ainsi, Jean Dercourt (2004), secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, aborde la question des flux d'étudiants susceptibles d'accéder aux carrières de recherche à partir de l'exemple de l'Ile-de-France. Il constate une diminution des inscriptions dans l'enseignement supérieur en sciences et notamment en physique-chimie. Le colloque sur la crise mondiale des sciences, organisé par la région Nord-Pas de Calais en novembre 2005⁶, corrobore cet état de fait (en 10 ans, le nombre d'étudiants a décru de 37 % en sciences physiques). Lors de ce colloque, il a été établi que cette situation n'était pas spécifique à la France mais générale aux pays développés (touchant moins les pays émergents). De même, le HCST (Haut Conseil des Sciences et de la Technologie) a publié en 2006⁷ un avis sur la désaffection des jeunes pour les études scientifiques supérieures. En conclusion, il préconise une sensibilisation à la science et aux techniques beaucoup plus tôt à l'école pour « casser » une image négative, susciter des vocations et réhabiliter les filières technologiques, considérées comme des roues de secours en cas d'échec dans les filières générales.

Pour expliquer cette désaffection, l'enseignement des sciences est le premier mis sur la sellette. Venturini (2004, p. 113) souligne ainsi que si les attitudes des enfants envers les sciences sont très majoritairement positives, « l'attitude envers les sciences à l'école n'est pas très bonne, particulièrement envers la physique, qu'elle se dégrade au fur et à mesure que l'élève avance dans son cursus scolaire, notamment après son entrée dans l'enseignement secondaire ». L'enseignement des sciences est jugé difficile, ennuyeux et quelquefois inutile (Venturini, 2004). Les élèves considèrent également que les sciences à l'école sont, par ailleurs, peu en phase avec leur quotidien⁸.

1.2.2 Différentes perspectives sur la crise de l'enseignement des sciences et des techniques

Fourez (2002a, p. 109) analyse cette crise en prenant différentes perspectives suivant les acteurs impliqués.

- Du point de vue des élèves, c'est bien la question du sens qui fait que les élèves « boudent » les études scientifiques : « les élèves auraient l'impression qu'on veut les obliger à voir le monde avec les yeux des scientifiques alors qu'ils aspireraient à un enseignement des sciences les aidant à mieux comprendre leur univers ».
- Du côté des enseignants, il pointe que « leur formation a, en gros, fait une impasse sur l'analyse du sens d'un travail scientifique ». Les enseignants sont formés comme des techniciens des sciences plutôt que comme des éducateurs : pas de formation à la pratique technologique, à l'épistémologie, à l'interdisciplinarité.
- Depuis la perspective du monde de l'industrie, on regrette un manque à venir d'ingénieurs, de techniciens et de scientifiques capables de produire des richesses.
- Les parents, soucieux de l'insertion socio-professionnelle de leurs enfants, se situent plutôt du côté du monde économique. La reconnaissance des compétences techniques via un diplôme est de ce point de vue fondamentale.

⁶ La région Nord-Pas de Calais : <http://www.nordpasdecals.fr/2005.sciences/intro.htm>, consulté le 10 Juin 2009.

⁷ Rapport annuel du HCST (Haut Conseil Scientifique et Technologique), 2006-2007, p. 39.

⁸ Rapport Porchet, *Les jeunes et les études scientifiques* : <http://media.education.gouv.fr/file/91/8/5918.pdf>, consulté le 10 Juin 2009.

Reste la question des citoyens : sans formation adéquate en sciences et techniques, ont-ils alors le pouvoir de négocier⁹ avec les technosciences et les représentations du monde qu'elles véhiculent ?

1.2.3 Des critiques formulées à l'enseignement des sciences et des techniques

Les critiques portent sur la forme scolaire que prend l'enseignement des sciences et des techniques. On peut toutefois distinguer deux types de critiques. L'un porte sur l'épistémologie des savoirs enseignés et la forme que cette épistémologie donne à l'enseignement (1.2.3.1). L'autre porte plus spécifiquement sur la différence de nature entre savoirs scientifiques scolaires et savants (1.2.3.2).

1.2.3.1 Forme scolaire et épistémologie des savoirs scientifiques enseignés

L'enseignement des sciences est souvent décrit comme étant académique, abstrait et magistral. Ravetz¹⁰ (2002, p. 109 cité dans Levinson (2006, p. 1218)) écrit ainsi que « the inherited institution of science education is one of the last surviving authoritarian social-intellectual systems in Europe ... students absorb the lesson that every real scientific problem has one and only one simple, correct answer ». Le dogmatisme de l'enseignement fait que la science scolaire est finalement bien peu scientifique (Albe, 2009b, mentionnant l'étude de Fleming¹¹, 1986). Fourez (1994, p. 176) écrit ainsi que « les cours de mathématiques et de sciences véhiculent un contenu idéologique bien plus grand que ceux de religion. En effet, les élèves entrent dans une classe de sciences bien décidés à croire les vérités qu'on leur proposera de croire ».

Il est souvent noté que les programmes sont trop chargés (Albe, 2009b, en référence à Solomon¹², 2002), ce qui conduit à une approche superficielle des contenus scientifiques.

De plus une approche positiviste est dénoncée par de nombreux chercheurs (Aikenhead, 2003 ; Désautels & Larochelle, 1993 ; Fourez, 2002a ; Hodson, 2003). L'enseignement scientifique présente la science comme décrivant la réalité et le scientifique est alors détenteur de la vérité absolue. L'enseignant a ainsi une autorité morale sur l'élève : il doit amener celui-ci sur le chemin de la vérité en lui montrant le « vrai » savoir, le savoir scientifique. Fourez (2002a) note aussi la place prépondérante de l'expérimental dans l'enseignement des sciences. L'expérience est toujours considérée comme cruciale, c'est-à-dire qu'elle a autorité à accepter ou rejeter un modèle scientifique. Elle circonscrit ainsi le champ de la science (est scientifique ce qui est prouvable expérimentalement). L'autorité que la science se confère à elle-même à travers l'enseignement des sciences est pourtant éloignée de la prudence qui caractérise sa

⁹ « On parle de négocier avec une technologie ou avec une vision du monde, quand on parvient à construire un compromis, l'adaptant à ses projets tout en s'adaptant à ses contraintes » (Fourez, 2002a, p. 110).

¹⁰ Ravetz, J. (2002). Memorandum submitted by Dr. Jerry Ravetz, Ev.109, Appendices to the minutes of evidence taken before the House of Commons Science and Technology Committee, Science Education from 14 to 19, Third Report of Session 2001-02. London : The Stationery Office Ltd.

¹¹ Fleming, R. (1986). Adolescent reasoning in socio-scientific issues, part II : Nonsocial cognition. *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 689-698.

¹² Solomon, J. (2002). Changes to science education : where next ? *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, 2, 25-32.

méthode. Ce paradoxe de la science scolaire est relevé par Osborne, Erduran & Simon (2004, p. 996) quand ils écrivent que « finally, it is ironic that science, which presents itself as the epitome of rationality, so singularly fails to educate its students about the epistemic basis of belief, relying instead on authoritative modes of discourse (Scott, 1998)¹³ that leave students with naive images of science (Driver, Leach, Millar, & Scott, 1996)¹⁴ and little justification for the knowledge they have acquired ».

Ces caractéristiques épistémologiques de l'enseignement des sciences sont anciennes, car Bachelard (1949) dénonçait déjà que « de l'enseignement scientifique de l'école, on retient les faits, on oublie les raisons et c'est ainsi que la « culture générale » est livrée à l'empirisme de la mémoire » (pp. 123-124).

1.2.3.2 L'autonomie des savoirs scientifiques scolaires

Selon Sadler (2009, pp. 7-8), il existe des différences importantes entre les savoirs scientifiques scolaires et savants. En effet, « participants in the community of school science seek to develop understandings of well established scientific formalisms as delineated by a teacher. Participants in scientific communities seek to create new understandings about the natural world and use scientific formalisms and practices to negotiate novel and persistent questions and problems ». Dans le contexte de l'école, les savoirs scolaires ont pour finalité la réussite scolaire (application des savoirs à des situations aux formats bien définis) alors que dans le contexte du monde scientifique, les savoirs savants sont davantage des ressources pour répondre à des problèmes ouverts. D'un côté, c'est la reproduction de savoirs qui est visée, de l'autre, c'est la création de nouveaux savoirs qui est en jeu.

Sadler (2009, p. 9) met ainsi en question la transposition des savoirs savants dans le contexte scolaire. En effet, « the scientific ideas featured in schools are usually translated, simplified and completely abstracted from the contexts in which the concepts and theories were derived and originally used ». Si les savoirs scolaires acquièrent leur propre autonomie par rapport aux savoirs savants, quelle éducation vise alors cet enseignement ? Sadler (2009, p. 10) critique alors l'enseignement pratiqué des sciences : « science education should seek to accomplish more than just helping students to develop discourses and identities that enable them to succeed in higher levels of school science ».

¹³ Scott, P. (1998). Teacher talk and meaning making in science classrooms : a vygotskian analysis and review. *Studies in Science Education*, 32, 45-80.

¹⁴ Driver, R., Leach, J., Millar, R. & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham, UK, Open University Press.

Résumé du chapitre 1

Les sciences et techniques ont évolué au cours du XX^{ème} siècle et elles prennent une place toujours plus importante dans les sociétés humaines. Elles ont changé de nature si bien que l'on parle maintenant de technosciences. Ces technosciences « performant » de plus socialement les sociétés contemporaines et suscitent des critiques.

D'une part, la façon dont elles transforment profondément le social, sans que le citoyen n'ait prise sur ces changements, est critiquée. Elles peuvent de plus engendrer des accidents aux ampleurs inconnues jusqu'à présent et, de manière générale, leurs conséquences sont incertaines et imprévisibles.

D'autre part, il existe des critiques sur leur mode de fonctionnement, car le pouvoir de décision et d'action politique repose de plus en plus sur la mobilisation d'expertises scientifiques. La place du citoyen est alors questionnée dans le processus à la fois de l'aide à la décision et de la prise de décision. Comment le citoyen peut-il alors agir sur le développement des technosciences ?

Dans ce contexte, des critiques ont été formulées à l'enseignement des sciences et des techniques, car si les technosciences ont évolué et performant rapidement le social, l'enseignement des sciences et des techniques apparaît, quant à lui, très conservateur. Décontextualisé, dogmatique, positiviste, bouclé sur lui-même, cet enseignement est bien peu en phase avec la société technoscientifique et manque de sens pour les apprenants qui ne s'y investissent donc pas.

Face à ce constat, de nombreux chercheurs en éducation aux sciences appellent au changement de l'enseignement des sciences et des techniques, tant au niveau des contenus que des formes d'enseignement.

2. L'essor d'un nouveau courant éducatif

Il est en quelque sorte paradoxal que le citoyen soit de plus en plus confronté à la « science en action » des technosciences et que cette « science en action » soit absente ou anecdotique dans l'enseignement actuel des sciences et des techniques. Face à ce constat, un nouveau courant éducatif dans l'enseignement des sciences émerge. L'ambition est de fonder l'enseignement scientifique sur de nouvelles bases éducatives : il convient d'éduquer le citoyen à participer à la prise de décision en matière de technosciences.

Ce nouveau courant éducatif ancre alors son action dans la promotion d'une culture scientifique et technique (2.1). Historiquement, différents courants se réclament de la culture scientifique pour proposer une autre conception de l'enseignement des sciences et des techniques. Nous étudierons alors l'émergence de quelques courants anglosaxons et francophones (2.2).

L'objectif de ce chapitre est par conséquent de dresser un panorama succinct des courants éducatifs qui ancrent leur action dans la promotion d'une culture scientifique et technique pour le citoyen.

2.1 La promotion d'une culture scientifique

La promotion d'une culture scientifique est devenue une priorité institutionnelle dans les pays développés, pour la formation du citoyen comme pour celle des élites scientifiques (2.1.1). Si la notion de « culture scientifique » est en fait controversée car équivoque (2.1.2), un consensus se dessine toutefois sur sa tonalité, ce qui fait que des principes communs émergent pour fédérer institutions et personnes (2.1.3).

2.1.1 Des recommandations institutionnelles

A partir des années 80, l'Unesco, l'OCDE et d'autres institutions proposent que la formation en sciences des futurs citoyens devienne une priorité, comme le rappelle Albe (2009b, p. 66) dans sa revue de littérature : « le rôle essentiel de l'éducation scientifique est justifiée en référence à la dimension scientifique des sociétés post-industrielles, dites « sociétés du savoir » ».

Dans son rapport de 2005 intitulé *Vers les sociétés du savoir*, l'Unesco fait ainsi une place centrale à la culture scientifique dans l'enseignement des sciences : « la diffusion d'une authentique culture scientifique est désormais indispensable à l'exercice d'une gouvernance démocratique » (p. 134).

Selon ce rapport, cette nécessité est double : individuelle pour raisonner les choix à faire dans la vie quotidienne, et collective pour raisonner les choix au niveau de la société. Il est ainsi écrit que les sociétés du savoir « accentuent la nécessité d'une « alphabétisation scientifique » qui permette à chacun d'être en mesure de prendre des décisions personnelles, sur le plan médical, par exemple, ou collectives – en matière d'usage des données personnelles. Le public n'a pas nécessairement besoin de posséder l'ensemble des connaissances qui sont dispensées dans les manuels scientifiques, mais doit au moins pouvoir juger de la pertinence des arguments avancés par les experts et comprendre les conséquences éventuelles des

mesures envisagées par les responsables sur l'économie, la conservation de la nature ou la santé » (p. 134).

Par conséquent, ce qui est recommandé dans ce rapport, c'est une formation scientifique, non pas destinée seulement aux futures élites scientifiques, mais à n'importe quel individu de la société, ou plutôt il s'agit de construire par la science le futur citoyen d'une société du savoir : « la formation d'une culture scientifique vise à doter les individus moins d'un corpus de connaissances déterminées que de la capacité à participer activement à la gouvernance de sociétés de plus en plus influencées par la science et la technologie » (p. 134).

Ces considérations rejoignent la critique sur les formes scolaires traditionnelles de l'enseignement des sciences : « in recent years science education has been criticized for being narrow and irrelevant to the majority of children, being focused on the education of future scientists rather than serving the needs of future citizens in a scientific and technologically dominated society » (Bryce & Gray, 2004, p. 718).

La culture scientifique, qui est souhaitée par ces rapports institutionnels, mérite toutefois quelques précisions car le terme est hautement polysémique.

2.1.2 La culture scientifique : une notion controversée

Si en français, on parle plutôt de culture scientifique, l'expression consacrée anglaise est « scientific literacy », c'est-à-dire littéralement « alphabétisation scientifique ». La force de cette expression est telle qu'on tend en français aussi à employer cette traduction littérale (UNESCO, 2005, p. 134 ; Fourez, 1994, 2002a, 2002b ; Albe, 2005a).

L'entreprise de définir la « scientific literacy » est délicate et sujette à controverses : « le concept de *scientific literacy* a donné lieu à de multiples interprétations dont certaines sont plus ou moins conciliables entre elles et que le débat à ce sujet est loin d'être clos » (Désautels, 1998, p. 16).

Dans sa revue de littérature, Laugksch (2000) classe les différentes définitions utilisées dans les recherches en éducation aux sciences en 3 catégories :

- « literate as learned » : la culture scientifique renvoie à la maîtrise d'importantes connaissances scientifiques spécialisées. Elle a donc une référence unique et absolue : les savoirs produits par les institutions scientifiques.
- « literate as competent » : la culture scientifique est conçue comme opérationnelle pour certaines tâches (résolution de problèmes pratiques).
- « literate as able to function minimally in society » : la culture scientifique permet de jouer un rôle particulier dans la société.

De même, la nécessité de la culture scientifique est justifiée de différentes façons dans la littérature (Albe & Ruel, 2008) :

- Justification d'ordre économique : la culture scientifique prépare à l'emploi, soutient la croissance économique et technologique. Cette justification rentre bien dans le modèle libéral de l'école : l'école émancipe l'individu en lui donnant l'opportunité d'accéder à une situation sociale définie par son métier.
- Justification d'ordre utilitaire : la culture scientifique permet aux élèves de maîtriser la science dans leur vie de tous les jours pour résoudre des problèmes pratiques. Le savoir scientifique est alors utile pour optimiser l'intendance domestique ou professionnelle.
- Justification d'ordre culturel : la science est une production humaine au même titre que l'art, etc.
- Justification d'ordre démocratique : la culture scientifique « permet d'habiliter les jeunes à participer à la configuration de la société » (Albe & Ruel, 2008, p. 122).

- Driver, Leach, Millar & Scott (1996, p. 11) ajoutent de plus une justification d'ordre moral : « the practice of science embodies norms and commitments, which are of wider value ».

Sans plonger dans la controverse liée à une définition de la culture scientifique, on remarque en suivant Roberts¹⁵ (2007) (d'après Albe & Ruel, 2008, p. 122) que toutes les définitions se situent continûment entre deux versions extrêmes : « l'une conçoit la culture scientifique à partir des produits et procédés des sciences et exclut la prise en compte de considérations sociales et des dimensions morales et politiques et des valeurs en sciences. L'autre considère ces éléments et appréhende la culture scientifique à partir des situations impliquant une dimension scientifique que les élèves peuvent rencontrer en tant que citoyens ». Autrement dit, le spectre des définitions représente le degré de performance sociale que l'on attribue à la science : d'un côté du spectre, la culture scientifique est envisagée comme une culture autonome et propre à la science et de l'autre côté, la culture scientifique est conçue comme un élément participant à l'action du citoyen dans une situation réelle.

2.1.3 Quelques principes pour un nouveau courant éducatif

Si des institutions et des chercheurs en éducation appellent à un nouveau courant éducatif, c'est dans une volonté de rompre avec le modèle positiviste et dogmatique de l'enseignement des sciences, qui conçoit la culture scientifique comme une culture de connaissances spécialisées pour un public spécialisé. Selon Cross & Price (1996, p. 321), « reconceptualizing science teaching amounts to a changing conception of scientific literacy ». Un nouveau courant éducatif dans l'enseignement des sciences fait ainsi référence à une définition de la culture scientifique davantage tournée vers les aspects épistémologiques et sociaux de la science que vers ses résultats.

En effet, la culture scientifique revendiquée conçoit davantage l'apprenant « literate as competent » ou « as able to function minimally in society » que « literate as learned », c'est-à-dire davantage tourné vers l'expression sociale des connaissances scientifiques que muni d'un bagage scientifique fait de connaissances spécialisées. C'est la conclusion à laquelle arrive DeBoer (2000, p. 594) dans sa revue de littérature sur la culture scientifique : « the one specific thing we can conclude is that scientific literacy has usually implied a broad and functional understanding of science for general education purposes and not preparation for specific scientific and technical careers ».

C'est également ce que défend par exemple Sadler (2006, p. 354) quand il écrit que « scientific literacy for all students must include preparation for active participation in societies largely influenced by science and technology ». De même, Laroche & Désautels (2001, p. 56) considèrent que la justification démocratique de cette culture scientifique n'est pas « un « supplément d'âme pédagogique », mais bien une condition incontournable pour que les uns les autres puissent, d'une part, s'initier de façon réflexive aux pratiques et conflits argumentatifs qui sous-tendent l'entreprise scientifique ; et, d'autre part, apprendre à se structurer comme des interlocuteurs et des interlocutrices aptes à participer de plain-pied aux « événements de langage publics » sur les enjeux socioéthiques de cette entreprise ».

Par conséquent, ce qui fonde ce courant éducatif, c'est l'ambition de faire un enseignement aux sciences pour l'action du citoyen dans un monde technoscientifique.

¹⁵ Roberts, D. A. (2007). *Scientific Literacy / Science Literacy*. In S.K. Abell & N.G. Lederman (Éds.). *Handbook of Research on Science Education*. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, 729-780.

2.2 L'émergence d'un nouveau courant éducatif

Afin de décrire l'émergence de ce courant éducatif, nous nous appuyons sur les exemples anglosaxons (2.2.1), et francophones (2.2.2).

2.2.1 Approches anglo-saxonnes

Nous nous intéressons dans cette partie à l'émergence d'un courant éducatif valorisant une culture scientifique pour l'action citoyenne dans le monde anglosaxon. Nous présentons succinctement quelques éléments historiques de structuration d'un tel courant : depuis les années 70 avec le mouvement Science-Technology-Society (2.2.1.1) jusqu'à aujourd'hui avec l'important mouvement des Socioscientific Issues (2.2.1.2). Nous relevons aussi quelques variations lexicales dans la façon de nommer l'objet des recherches au sein de ces approches (2.2.1.3).

2.2.1.1 Le mouvement STS

Le courant Science-Technology-Society (STS) a émergé dans les années 70 dans le monde anglo-saxon. En 2005, Zeidler, Sadler, Simmons & Howes dressent un portrait historique du mouvement STS. Selon ces auteurs, le mouvement STS s'est développé autour de la conviction que pour améliorer l'enseignement des sciences, il fallait motiver les élèves à travers des activités mettant en scène des contextes sociaux et technologiques qui intéressent les élèves : « it was agreed that science would become more meaningful to students when placed in the context of how it affects technology and how technology, in turn, directs society » (p. 358). Aikenhead (1994)¹⁶ résume l'enseignement STS : « STS science teaching conveys the image of socially constructed knowledge. Its student oriented approach . . . emphasizes the basic facts, skills, and concepts of traditional science . . . but does so by integrating that science content into social and technological contexts meaningful to students (p. 59) » (cité dans Zeidler, Sadler, Simmons & Howes, 2005, p. 358).

Les années 80 ont été le théâtre d'un changement : l'interdépendance entre science, techniques et société est mise en avant et l'approche STS est intégrée aux programmes nord-américains.

Les pratiques développées sont cependant désordonnées, disparates et accessoires. Les thèmes choisis ne sont finalement pas pertinents pour les élèves car éloignés de leur quotidien (Zeidler, Sadler, Simmons & Howes, 2005, p. 359).

Dans les années 90, les programmes STS ont été recyclés en thèmes STS-Environnement (STS-E) mais les pratiques se sont progressivement marginalisées alors même que les connections entre science, technologie, société et environnement restent dans les programmes.

Selon Albe (2009b, p. 66), en référence à Gaskell (2001)¹⁷, la marginalisation progressive est aussi due aux lobbies des sciences dures qui ont critiqué ces approches en les considérant comme des sciences sociales se prenant pour des sciences. De plus, cet enseignement va à l'encontre du modèle universitaire qui promeut les carrières scientifiques : « un enseignement scientifique pertinent est vu par nombre d'enseignants, de parents et d'élèves comme celui qui prépare naturellement à l'entrée à l'université de sciences (Gaskell, 2001) ».

¹⁶ Aikenhead, G. (1994). What is STS in science teaching ? In J. Solomon & G. Aikenhead (Eds.), *STS education : International perspectives on reform*. New-York : Teachers College Press.

¹⁷ Gaskell, P.J. (2001). STS in a time of economic change : what's love got to do with it ? *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, 1, 385-398.

2.2.1.2 Le mouvement des Socioscientific issues (SSI)

A partir des années 90, un nouveau reproche est adressé à l'enseignement des STS : il prend pour modèle davantage la « science faite » de Latour (1989) que la « science en action », car un contenu scientifique « tout fait » en est le centre (Bingle & Gaskell (1994)¹⁸, cité dans Zeidler, Sadler, Simmons & Howes, 2005).

De nouvelles préoccupations prennent alors de l'importance avec l'arrivée de parties consacrées à la nature de la science (Nature Of Science ou NOS) dans les programmes des pays anglo-saxons. Un des principaux arguments en faveur de l'enseignement de la nature de la science est un argument de type démocratique : « an understanding of the nature of science is necessary if people are to make sense of socioscientific issues and participate in the decision-making process » (Driver, Leach, Millar & Scott, 1996, p. 18).

Driver et al. (1996) définissent alors les « socioscientific issues » (SSI) : « we will refer to such issues, which are of broad social interest and involve a science dimension, as socioscientific issues » (p. 18).

Il émerge ainsi dans les années 2000 une nouvelle tendance, les socioscientific issues (SSI), où est prise en compte la nécessité de traiter en classe des problèmes ouverts (donc sujets à controverses), d'intérêt social, mettant en jeu des connaissances scientifiques : « rather than limiting the discussion to communities of classroom science and professional science, science as it is practiced in the lived experiences of engaged citizens can serve as the basis for developing a different kind of community of practice in science classrooms. The underlying premise is that we position science classrooms as contexts for students and teachers to actively explore issues and problems with two necessary elements: (1) conceptual and/or procedural connections to science; and (2) social significance, preferably as judged by the community participants themselves. This class of issues and problems has been termed socio-scientific issues (SSI) (Sadler, 2004)¹⁹» (Sadler, 2009, p. 11).

Les SSI, en tant que problèmes ouverts, n'ont pas de solutions simples ou prédéfinies. Il s'agit pour les élèves et les enseignants de construire les savoirs et pratiques scientifiques pour résoudre un problème socialement contextualisé. En ce sens, les SSI appellent l'invention de nouvelles formes scolaires.

C'est par conséquent aussi bien une nouvelle éducation par les sciences (confrontation aux questions pratiques que posent les technosciences) qu'une nouvelle éducation aux sciences (nouvelles formes scolaires pour l'enseignement des sciences) que proposent les chercheurs associés à ce courant.

Le projet des SSI consiste ainsi en une refondation du projet STS, et, pour certains chercheurs, les dilemmes moraux et sociaux que posent les controverses socioscientifiques peuvent également être un enjeu éducatif : « whereas the overarching purpose of the STS approach is to increase student interest in science by placing science content learning in a societal context, SSI education aims to stimulate and promote individual intellectual development in morality and ethics as well as awareness of the interdependence between science and society. SSI therefore does not simply serve as a context for learning science, but rather as a pedagogical strategy with clearly defined goals » (Zeidler, Sadler, Simmons & Howes, 2005, p. 360).

¹⁸ Bingle, W. H., & Gaskell, P. J. (1994). Scientific literacy for decision making and the social construction of scientific knowledge. *Science Education*, 78, 185-201.

¹⁹ Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues : a critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 513-536.

2.2.1.3 Des termes non stabilisés

Bien que les objectifs et définitions des SSI soient partagés par beaucoup de chercheurs anglo-saxons, les termes décrivant cette entreprise sont multiples.

On trouve en effet les termes « socioscientific issues » (Zeidler, Walker, Ackett & Simmons, 2002 ; Sadler, 2004 ; Sadler, Chambers & Zeidler, 2004 ; Zeidler, Sadler Simmons & Howes, 2005 ; Sadler, Amirshokoohi, Kazempour & Allspaw, 2006, Kolstø, 2001a ; 2006a), « socio-scientific issues » (Kolstø, 2001b ; 2006b ; Levinson, 2004 ; Lewis & Leach, 2006 ; Albe, 2007), « controversial environmental issues » (Gayford, 2002), « controversial socio-scientific issues » (Levinson, 2006) ou « controversial issues » (Oulton, Dillon & Grace, 2004).

Si ces termes sont différents, il nous semble toutefois qu'ils renvoient tous aux mêmes préoccupations et le terme SSI tend à s'imposer²⁰.

2.2.2 Approches francophones

Les approches francophones sont plus récentes que ses cousines anglosaxonnes mais ont pris de l'importance ces dernières années. Si l'histoire des courants anglosaxons a marqué le développement des approches francophones, on peut toutefois distinguer par le lexique employé une approche mettant l'accent sur les controverses scientifiques (2.2.2.1) et une autre développant la notion de questions socialement vives (2.2.2.2).

2.2.2.1 L'enseignement de/par des controverses socioscientifiques

L'enseignement des sciences par des controverses socioscientifiques en classe a pour objectif de proposer une autre éducation aux sciences : « c'est une toute autre éducation aux sciences qui est alors convoquée puisqu'il s'agit d'aider les étudiants et étudiantes à mieux négocier leur monde, en s'ouvrant bien sûr aux manières spécialisées de le scénariser et le performer, mais aussi en apprenant à participer et à s'engager dans les affaires publiques où les sciences ont un rôle à jouer (Roth et McGinn, 1997)²¹ » (Désautels & Larochelle, 2004, p. 524).

Un enseignement scientifique par des controverses promeut également une image de l'activité scientifique en rupture avec le modèle d'enseignement traditionnel et, en ce sens, s'inscrit en critique de ce dernier. Cet enseignement traite avec la « science en action » alors que le modèle traditionnel a à faire avec la « science faite ». Pour Bader (2003, p. 232), « proposer une représentation socialisée des sciences qui intègre les dimensions épistémologiques, éthiques et politiques se veut une manière de renouveler la vision classique des sciences promue à l'école ».

Finalement, avec ce changement de paradigme pédagogique, c'est la formation d'un citoyen éclairé sur le fonctionnement des technosciences qui est visé.

²⁰ Albe, V. (2012). Communication personnelle à l'auteur.

²¹ Roth, W.-M. & McGinn, M. K. (1997). Deinstitutionalizing school science : implications of the strong view of situated cognition. *Research in Science Education*, 27, 497-513.

2.2.2.2 Les questions socialement vives (QSV)

Si c'est Chevallard (1997) qui introduit le terme de « questions vives » par opposition aux « savoirs moribonds », c'est Legardez (1999) qui emploie l'expression « questions socialement vives » (QSV) pour étudier les problèmes de transposition didactique des savoirs pluridisciplinaires qui constituent les Sciences Économiques et Sociales, et de Gestion (Albe, 2009b).

L'expression s'est ensuite étendue, notamment par les travaux de L. Simonneaux en zootechnie et J. Simonneaux sur la mondialisation, « interrogeant dans une perspective d'écologie des savoirs les enseignements de sciences économiques, sociales et de gestion, les recherches développées par Legardez rejoignent sur plusieurs points les questions soulevées par l'intégration de thèmes controversés dans l'enseignement des sciences en lycée agricole (biotechnologies, climat, énergie biodiversité) : caractère paradigmatique des savoirs de référence, traitement pluridisciplinaire recommandé dans les programmes, visée d'éducation citoyenne explicite » (Albe, 2009b, p. 57). Il est aussi repris dans le cadre de l'enseignement de l'histoire-géographie (Tutiaux-Guillon, 2006).

En introduction de l'ouvrage qu'ils coordonnent, Legardez & Simonneaux (2006, pp. 21-22) rappellent qu'une question est socialement vive à trois niveaux :

- *Dans la société* : « une telle question interpelle les pratiques sociales des acteurs scolaires (dans et hors de l'institution) et renvoie à leurs représentations sociales et à leur système de valeurs ; elle est considérée comme un enjeu par la société (globalement ou dans certaines de ses composantes) et suscite des débats (des « disputes » aux « conflits ») ; elle fait l'objet d'un traitement médiatique tel que la majorité des acteurs scolaires en ont, même sommairement, connaissance ».
- *Dans les savoirs de référence* : « il existe des débats (des « controverses ») entre spécialistes des champs disciplinaires ou entre les experts des champs professionnels. Dans la plupart des savoirs disciplinaires qui renvoient à des sciences sociales et humaines plusieurs paradigmes sont souvent en concurrence. Dans les domaines des sciences dites exactes, il faut désormais faire la distinction entre la « core science » stabilisée et la « frontier science » encore débattue dans la communauté scientifique. Les recherches scientifiques sont devenues finalisées. Elles produisent des technosciences ».
- *Dans les savoirs scolaires* : « la question est d'autant plus « potentiellement vive » au niveau des savoirs scolaires qu'elle renvoie à une double vivacité dans les deux autres niveaux de savoirs. Les élèves y sont alors directement confrontés, ainsi que les enseignants qui se sentent souvent démunis pour aborder un type de questionnement étranger à leur modèle pédagogique de référence ».

Legardez (2006) dresse une typologie des QSV. Certaines questions sont ainsi *émergentes* telles que celles concernant les OGM, la mondialisation. D'autres sont *latentes* telles que celles liées au racisme, à l'entreprise, au genre. Certaines sont *résurgentes* telles celles concernant la citoyenneté, l'identité nationale, les questions énergétiques, etc.

Ces QSV pénètrent généralement dans le milieu scolaire par la pression médiatique qui accompagne ces questions. Les QSV ne sont toutefois pas toujours présentes sous forme de questions dans les programmes : « les processus de didactisation ont pu leur faire perdre l'apparence d'une question sociale pour qu'ils deviennent des objets d'enseignement scolaire « neutralisés » » (Legardez, 2006, p. 23).

L'intérêt des QSV est que leur enseignement « met en question le fonctionnement standard de la forme scolaire » (Astolfi, 2006, p. 12) et peut donc conduire à en renouveler la forme.

Résumé du chapitre 2

De nouvelles tendances en éducation aux sciences ont émergé au Canada, aux USA et en Europe, qui remettent en question les formes traditionnelles de l'enseignement scientifique, dont l'objectif exclusif est la formation des futurs scientifiques et techniciens. Relevant le défi que les technosciences lancent aux sociétés occidentales, elles partagent la volonté de s'ancrer dans une culture scientifique, appelée aussi alphabétisation scientifique et technique, tournée vers l'éducation du citoyen par la science.

Ces tendances, malgré leur absence d'unité structurelle, cherchent à promouvoir un enseignement qui se centre sur la nature sociale de la science par l'étude de controverses socioscientifiques. Cette étude de controverses nécessite de nouvelles formes scolaires pour atteindre son objectif qui est d'éduquer le citoyen aux nouvelles formes de régulations sociales d'un monde technoscientifique.

Cette ambitieuse entreprise est toutefois difficile : comment cette culture scientifique s'adosse-t-elle aux connaissances scientifiques spécialisées ? Autrement dit, quels contenus nécessitent ces nouvelles formes scolaires de l'enseignement des sciences ? Quels freins/leviers sont identifiés pour intégrer ces nouvelles approches au système éducatif existant ?

Dans ce contexte, ces tendances partagent des problématiques de recherche communes, tant du côté des études sur les élèves que du côté des études sur les enseignants.

3. Les recherches sur les controverses socioscientifiques en milieu scolaire : un état des lieux

L'absence d'unité théorique des différentes tendances aussi bien anglo-saxonnes (STS, SSI) que francophones (QSV, controverses socioscientifiques) fait que tenter de structurer les recherches est une entreprise difficile. Nous utiliserons dans la suite les revues de littérature d'Albe (2009b) et Sadler (2004 et 2009). Albe (2009b) propose en effet une structuration par les enjeux socio-éducatifs que recouvrent les recherches, Sadler (2004) et Sadler (2009) s'intéressent plutôt aux effets d'un enseignement SSI sur l'apprentissage des élèves.

Notre propos ici est d'organiser la littérature lue dans le cadre de notre travail de thèse pour faire émerger les questions spécifiques que pose l'enseignement de/par les controverses socioscientifiques.

Nous avons donc commencé par classer les études en deux grands champs suivant qu'elles s'intéressent plutôt à l'activité des élèves ou à celle des enseignants. Nous avons appelé les premières « recherches sur l'apprentissage » (3.1) et les secondes « recherches sur l'enseignement » (3.2).

3.1 Recherches sur l'apprentissage de/par une controverse socioscientifique

Nous nous appuyons dans cette partie sur les trois revues de littérature de Sadler (2004), Sadler (2009) et Albe (2009b) pour structurer notre synthèse des recherches menées sur l'apprentissage de/par une controverse socioscientifique.

Sadler (2004) catégorise les recherches suivant qu'elles prennent pour objet l'un des quatre thèmes suivants :

- l'argumentation socioscientifique des individus ;
- les relations entre la nature de la science (NOS) et la prise de décision socioscientifique ;
- l'évaluation de l'information pertinente ;
- l'influence de la compréhension conceptuelle sur le raisonnement.

Les principes qui guident notre structuration sont d'intégrer les recherches francophones et anglophones (en suivant Albe, 2009b) et d'entrer par les objets de recherche (en suivant Sadler, 2004). Nous distinguons de plus les recherches visant à comprendre la manière dont les élèves négocient avec les controverses socioscientifiques (3.1.1) et celles visant à évaluer les effets d'un enseignement de/par les controverses sur l'apprentissage des élèves (3.1.2).

Il y a en effet nécessité de comprendre comment les élèves négocient avec une controverse socioscientifique pour pouvoir évaluer l'apprentissage qu'ils en font.

3.1.1 Comment les élèves négocient-ils avec les controverses socioscientifiques ?

Plusieurs capacités²² ont été identifiées comme étant mobilisées de façon importantes dans une situation de controverse socioscientifique : capacité à argumenter, à prendre une décision raisonnée, esprit critique face à une information, compréhension des savoirs scientifiques mis en jeu dans la situation.

Nous retrouvons ici une partie de la structuration proposée par Sadler (2004) et nous étudierons donc les résultats des recherches s'intéressant à la manière dont les élèves argumentent (3.1.1.1), la manière dont ils prennent des décisions (3.1.1.2), la manière dont ils évaluent la qualité et la pertinence des informations (3.1.1.3) dans le cadre d'une controverse socioscientifique.

3.1.1.1 Comment les élèves argumentent-ils dans une controverse socioscientifique ?

3.1.1.1.1 Pourquoi s'intéresser à l'argumentation des élèves ?

Les recherches sur l'argumentation à propos d'une controverse socioscientifique fondent leur légitimité sur la nécessité de donner aux élèves des outils afin qu'ils puissent participer au débat citoyen sur les technosciences. Osborne, Erduran & Simon (2004, p. 1017) voient dans la pratique argumentative un élément essentiel de la culture scientifique et ils considèrent des pratiques éducatives fondées sur l'argumentation comme une manière de bousculer le modèle traditionnel de l'enseignement des sciences. Ils écrivent ainsi : « science “for all” can only be justified if it offers something that is of universal value to everyone. Also, given that argumentation is a major constitutive element of science itself, and of our cultural milieu, developing some understanding of its nature and function is an essential component of the education of all young people. Engaging students in argumentation and its evaluation offers a means of transcending the dogmatic, uncritical, and unquestioning nature of so much of the traditional fare offered in science classrooms ».

Pour Bader (2003, pp. 232-233), les recherches sur l'argumentation empruntent deux voies complémentaires pour suggérer de nouvelles pratiques éducatives : « un tel projet à plus long terme suppose d'un point de vue didactique, comme le souligne par exemple Kolstø (2001a)²³, que l'on ait précisé au préalable comment des élèves argumentent autour d'une vision socialisée des sciences afin de suggérer des stratégies éducatives qui tiennent compte à la fois de ce qu'ils et elles savent déjà sur le sujet et de leurs manières d'en parler. Projet qui nécessite également (...) que l'on complexifie la rhétorique habituelle sur les sciences à caractère empirique et réaliste, car celle-ci ne permettrait pas de concevoir la part inévitable de négociations dans les controverses sociotechniques dans la mesure où cette conception courante des sciences tend à traduire celles-ci en une affaire de lecture individuelle et décontextualisée du réel ».

²² Nous admettons que l'expression choisie est floue, mais nous ne voyons pas la nécessité dans le cadre de notre travail de chercher un terme plus précis. Les « capacités » mises en jeu (ou compétences, ressources, etc.) sont toutes à la fois sociales, langagières, psychologiques, etc. et renvoient donc à la cognition de l'individu.

²³ Kolstø, S.D. (2001a). Scientific literacy for citizenship: Tools for dealing with the science dimension of controversial socioscientific issues. *Science Education*, 85, 291–310.

Il s'agit alors pour la recherche de connaître la manière dont les élèves argumentent et, à travers une analyse de leur argumentation, d'identifier leurs représentations des sciences. Selon Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodriguez & Duschl (2000, p. 758), les recherches sur la manière dont les élèves argumentent sont nécessaires pour élaborer des ingénieries didactiques : « as such, argumentation needs to be carefully studied in order for us to better understand how to promote students' appropriation of conversational genres that support their doing science and talking science (Applebee²⁴, 1996; Lemke²⁵, 1990) ». Ces ingénieries permettraient de proposer de nouvelles stratégies éducatives qui viseraient à une amélioration de l'argumentation des élèves et à une vision socialisée des sciences.

3.1.1.1.2 Résultats des recherches

Pour étudier la manière dont les élèves argumentent, plusieurs situations ont été construites par les chercheurs :

- des situations de débat (sur les téléphones portables : Albe, 2005b ; sur la construction d'une route et d'un pont : Patronis, Potari & Spiliotopoulou, 1999 ; sur l'installation de lignes Haute Tension à proximité de zones résidentielles : Kolstø, 2006b ; sur les biotechnologies : Simonneaux, 2001a, 2001b ; Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodriguez & Duschl, 2000 ; sur la destruction d'écosystèmes fragiles : Jiménez-Aleixandre & Pereiro-Munoz, 2002) ;
- des situations de jeu de rôle (sur les téléphones portables : Albe, 2005a ; Albe & Simonneaux, 2003 ; sur l'exploitation de nappes phréatiques : Yang, 2004 ; sur le changement climatique : Albe & Gombert, 2010) ;
- des situations d'échange avec un expert (Jimenez-Aleixandre & Pereiro-Munoz, 2002).

Pour analyser les argumentations des élèves, les chercheurs ont exporté des outils de modélisation utilisés dans d'autres domaines. C'est ainsi que des outils de linguistique, comme par exemple le modèle de Toulmin²⁶ (Patronis, Potari & Spiliotopoulou, 1999 ; Jiménez Aleixandre et al., 2000, 2002 ; Orange, 2003 ; Osborne, Erduran & Simon, 2004 ; Kolstø, 2006a) ou celui d'Adam²⁷ (Simonneaux, 2001a) sont utilisés dans les recherches. De même, le cadre sociologique de la théorie des économies de grandeur de Boltanski & Thévenot²⁸ est utilisé pour analyser les argumentations d'élèves (Simonneaux, 2001a ; 2001b).

Du point de vue de la forme des argumentations, les recherches notent qu'une variété d'arguments est utilisée par les élèves (Simonneaux, 2003 ; Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodriguez & Duschl, 2000) aussi bien pour expliquer les désaccords entre scientifiques que pour justifier leur propre position (Désautels & Larochelle, 2004, p. 521).

Sur le fond des argumentations, plusieurs études montrent que les élèves mobilisent peu les savoirs scientifiques (Levinson, 2004 ; Simonneaux & Simonneaux, 2005 ; Albe, 2005b ; Albe, 2007 ; Albe, 2009b) : « en somme, les élèves font désormais un certain usage du langage des sciences et plusieurs erreurs conceptuelles semblent être rectifiées, mais dans le développement de leur argumentation ils ne font pas souvent référence aux savoirs scientifiques » (Albe, 2005b, p. 370).

²⁴ Applebee, A. (1996). *Curriculum as conversation: Transforming traditions of teaching and learning*. Chicago: The University of Chicago Press.

²⁵ Lemke, J. (1990). *Talking science: Language, learning, and values*. Norwood, NJ: Ablex.

²⁶ Toulmin, S. (1969). *The Uses of Argument*. Cambridge: Cambridge University Press.

²⁷ Adam, J.-M. (1992). *Les textes : types et prototypes*. Paris : Nathan - Université

²⁸ Boltanski, L. & Thévenot, L. (1991). *De la justification. Les économies de la grandeur*. Paris : Gallimard.

Deux registres sont majoritairement mobilisés dans l'argumentation des élèves : l'un est épistémologique (organisé autour de la place de la preuve) et l'autre social (principes moraux ou religieux, expériences personnelles) (Albe, 2009b).

Pour Bader (2003, p. 234), le registre épistémologique des élèves est réaliste et empêche les élèves d'élaborer des argumentations complexes sur les controverses : ainsi, les élèves « ne semblent pas disposer des ressources discursives qui leur permettraient d'interpréter ces désaccords comme des éléments habituels en sciences ». Ce réalisme épistémologique pousse l'argumentation des élèves à véhiculer la conception d'une science qui « serait *d'abord* une affaire de lecture empirique et instrumentalisée du réel et, dans une moindre mesure seulement, une élaboration socialisée de connaissances ».

3.1.1.2 Comment les élèves prennent-ils une décision dans une controverse socioscientifique ?

3.1.1.2.1 Objets de recherche et méthodologies utilisées

Les recherches sur la prise de décision s'appuient sur des méthodologies similaires à celles sur l'argumentation (analyse de débats ou jeux de rôle). Les questions de recherche relatives à la prise de décision suivent d'ailleurs souvent les questions relatives à l'argumentation (Ratcliffe, 1997 ; Patronis, Potari & Spiliotopoulou, 1999 ; Grace & Ratcliffe, 2002 ; Kolstø, 2006b).

Les recherches se concentrent ainsi sur l'identification des arguments qui émergent comme étant cruciaux pour les décisions des élèves ou étudiants, ainsi que sur ce qui fonde ces arguments (part des connaissances scientifiques, part des valeurs).

Ratcliffe (1997) analyse également un protocole explicite de formation à la prise de décision.

3.1.1.2.2 Résultats des recherches

Les recherches mettent en avant trois éléments principaux qui interviennent dans la prise de décision. Premièrement, dans une controverse socioscientifique, les enjeux se cristallisent souvent autour de la recherche de la preuve (3.1.1.2.2.1). Si celle-ci est controversée, c'est le système de valeurs de l'élève qui force la décision (3.1.1.2.2.2). Les connaissances scientifiques occupent alors une place ambiguë : au service de l'argumentation mais pas nécessaires à la prise de décision (3.1.1.2.2.3).

3.1.1.2.2.1 La place fondamentale accordée à la preuve

L'argumentation des élèves se structure énormément autour de la notion de preuve. Quand il y a débat ou incertitude, il y a l'idée chez les élèves que seule *une* preuve peut trancher entre deux positions. Albe (2005b, p. 371) écrit ainsi que « les étudiants et étudiantes seraient prêts à changer d'avis dans un sens ou dans l'autre en autant que l'on fournira des preuves « scientifiques » solides. Autrement dit, ce sont des motifs que l'on pourrait qualifier d'épistémologiques qui semblent jouer un rôle important dans ce processus ».

Cette focalisation sur la preuve (Albe, 2005a ; Albe, 2005b ; Albe, 2007 ; Bader, 2003 ; Larochelle & Désautels, 2001) est associée à une conception empirico-réaliste de la nature de la science.

Selon cette conception, les controverses entre savants sont un moment de l'activité scientifique, le consensus des scientifiques autour d'une question peut tarder, mais au final un produit fini en émergera : la vérité scientifique, validée par une preuve expérimentale. Ainsi, ce qui est scientifique, c'est la vérité qui émerge et non la controverse.

Bader (2003) souligne la difficulté qu'ont les élèves à envisager l'existence de controverses en sciences, comme si la science n'était qu'un produit fini et que les controverses n'étaient « pas encore » de la science. C'est en ce sens qu'Albe (2007, p. 144) écrit : « students no longer see disagreements and uncertainty as intrinsic to research processes but as related to the lack of maturity of scientific research in a particular field. Students' declarations according to which with time a clear answer, a certainty will be available indicate a certain idea of the process of building knowledge as a cumulative gradual process ».

La conception empirico-réaliste de la nature de la science en action dans les systèmes éducatifs limite et appauvrit ainsi la notion de preuve scientifique (Tytler, Duggan & Gott, 2001). Quand Bachelard (1949, p. 31) définit l'activité scientifique comme étant une « union des travailleurs de la preuve », c'est bien à la fois une activité collective laborieuse qu'il décrit et une conception de la preuve comme travail et non comme fait établi. Levinson (2006, p. 8) catégorise neuf types de controverses et neuf types différents de preuves, c'est dire la complexité de la notion !

L'existence de controverses parmi les scientifiques et l'absence de preuves déstabilisent les élèves (Kolstø, 2001a), ce qui conduit Albe (2005b, p. 373) à écrire : « la demande de preuve des étudiants et étudiantes nous semble s'apparenter à une forme de délégation scientifique du profane à l'expert, ce qui est peu propice à l'entrée des technosciences en démocratie ».

3.1.1.2.2 La place des valeurs

C'est quand la preuve est reconnue comme absente qu'un autre registre est employé : le registre social fait alors appel au système de valeurs des élèves. Dans le cadre d'un débat entre une classe et un expert, Jiménez-Aleixandre & Pereiro-Munoz (2002, p. 1188) écrivent en effet que « however, their decisions were not based solely on conceptual understanding or scientific evidence : value judgments played an important role ». Selon Yang & Anderson (2003, p. 231), les valeurs jouent un rôle crucial dans la prise de décision : « these observations suggest that in teaching, it would be unwise to overlook or underestimate the importance of personal feelings and attitudes toward scientific information since these factors may be deeply entrenched in the student's belief systems and carry significant emotional valence in rendering judgments about socially relevant issues ». De façon plus générale, les valeurs jouent un rôle important dans les discussions entre élèves (Grace & Ratcliffe, 2002 ; Simonneaux & Albe, 2007).

Le registre social est composé de différentes dimensions et l'argumentation peut en mobiliser une ou plusieurs. Les croyances religieuses sont par exemple un moteur puissant de structuration de l'argumentation (Levinson, 2004, p. 361). De même, les élèves puisent des arguments dans leur expérience personnelle (Patronis, Potari & Spiliotopoulou, 1999, p. 752).

3.1.1.2.3 La place des savoirs scientifiques

Comment s'articulent donc valeurs et savoirs scientifiques dans la prise de décision des élèves dans une controverse ?

Si la majorité des élèves utilise l'information scientifique pour supporter leur raisonnement et formuler leurs arguments (Ratcliffe, 1997 ; Yang & Anderson, 2003), les concepts scientifiques que la majorité des élèves utilise n'apparaissent pas comme des facteurs importants pour prendre la décision dans des controverses socioscientifiques (Ratcliffe, 1997 ; Kolstø, 2006). Ce qui supporte le raisonnement sont des faits scientifiques, donnés par les experts, mais ce qui dirige la prise de décision, ce sont davantage les valeurs des personnes étudiées (Kolstø, 2006b, p. 1693).

Les savoirs scientifiques ont par conséquent un statut paradoxal dans la prise de décision, ils légitiment l'argumentation mais n'entrent que peu en jeu dans la prise de décision. Les élèves compartimentent connaissances scientifiques et opinions (Zeidler, Walker, Simmons & Howes, 2002, p. 360), ce qui fait que ce n'est pas forcément l'argument le plus scientifique qui est pour eux le plus convaincant : « students had a tendency to compartmentalize scientific evidence and the information they use to make personal decisions » (Sadler, 2004, p. 524).

De manière réciproque, Lewis & Leach (2006, p. 1282) ont montré que des lacunes en connaissances scientifiques peuvent conduire à des prises de décision inappropriées : « misunderstanding of the basic science can result in a failure to identify important issues of relevance, leading to flawed lines of reasoning and possibly inappropriate decision-making ».

De même, cette étude les a conduit à lier l'engagement des élèves dans une controverse à leurs connaissances scientifiques : « this study shows that the ability to *engage* in reasoned discussion of social issues arising from the application of science is, to a large extent, determined by the ability to identify key issues of relevance and that the ability to identifying key issues requires the consideration of a specific context and some understanding of the basic science relating to that context » (p. 1282).

Ainsi, selon ces recherches, travailler sur des controverses peut s'accompagner d'un développement des connaissances scientifiques alors qu'un manque de connaissances scientifiques limite les capacités argumentatives et la pertinence de la prise de position.

Les résultats de ces études confortent la thèse défendue par beaucoup de chercheurs : « a common assumption among science educators holds that understanding science content is necessary for informed (as opposed to whimsical or poorly thought-out) decisions regarding socioscientific issues » (Sadler, 2004, p. 528).

3.1.1.3 Comment les élèves évaluent-ils la qualité et la pertinence d'une information dans le cadre d'une controverse socioscientifique ?

Des recherches s'intéressent à la manière dont les élèves négocient avec des informations multiples et quelquefois opposées. Une modélisation est proposée pour rendre compte des stratégies que les élèves utilisent pour évaluer des informations (3.1.1.3.1). Le statut donné aux informations scientifiques est également questionné par certaines recherches (3.1.1.3.2).

3.1.1.3.1 Modèle des stratégies d'élèves dans l'évaluation des informations

Kolstø (2001b) examine ainsi le rapport qu'entretiennent les élèves avec l'expertise. Il explore les critères utilisés par les élèves pour évaluer l'information et la crédibilité des sources.

Les élèves sont déstabilisés par les informations divergentes qui leur sont fournies, la controverse perturbe leur adhésion à une connaissance particulière, ils mettent en doute la qualité de la recherche qui n'a pas réussi à trancher : « about half the pupils stated in more general terms that it was difficult to know what information to trust and which sources to believe. A few pupils also mentioned journalists' presentations and all the diverging opinions on the issue as problematic » (Kolstø, 2001b, p. 883).

Kolstø (2001b) propose alors une modélisation de l'évaluation de l'information par les élèves. Dans ce modèle, deux facteurs jouent un rôle : la teneur des informations elles-mêmes et les autorités qui fournissent l'information. Deux modes sont de plus affectés au jugement des élèves : l'acceptation et l'évaluation active.

Des profils d'évaluation d'élèves, appelés stratégies de résolution, peuvent ainsi être définis par combinaison des deux facteurs (« focus ») et des deux modes (« reaction ») (figure 1).

Reaction → Focus ↓	ACCEPTANCE	EVALUATION
STATEMENTS (Content-focused)	<u>1. 'Acceptance of knowledge claims'</u>	<u>2. 'Evaluation of statements'</u> <i>2a. 'Evaluation of knowledge claims'</i> <i>2b. 'Autonomous evaluation'</i>
AUTHORITIES (Sources of knowledge and information)	<u>3. 'Acceptance of authority'</u> <i>3a. 'Researcher confidence'</i> <i>3b. 'Actor specific confidence'</i>	<u>4. 'Evaluation of authority'</u> <i>4a. 'Analysis of opinion on risk'</i> <i>4b. 'Analysis of interest'</i> <i>4c. 'Analysis of neutrality'</i> <i>4d. 'Analysis of competence'</i>

Figure 1 Stratégies de résolution utilisées par les élèves (figure issue de Kolstø, 2001b, p. 883). Les catégories principales sont soulignées, les secondaires sont en italique.

Certains énoncés ne sont pas mis en doute et acceptés tels quels (stratégie 1). Pour d'autres, les élèves évaluent les informations disponibles à l'aune de la manière dont elles sont communiquées : une information est d'autant plus crédible qu'elle est le fruit d'un consensus scientifique, que la communication est bonne (« ça semble vrai »), que c'est compatible avec d'autres connaissances bien fondées, que l'incertitude sur la recherche est minimisée (stratégie 2). La stratégie 3 repose sur la confiance en l'expert : qui croire si ce n'est le spécialiste ou des collectifs qui s'intéressent à la question ? Enfin, la stratégie 4 est une analyse des élèves de la légitimité de l'expert : ses compétences, sa neutralité sont ainsi jugées essentielles à sa crédibilité.

Dans une controverse, les experts ont en effet une position stratégique : leur statut fait que ce sont eux qui, à défaut de connaître la vérité et de détenir une preuve, ont le plus d'informations. Cette survalorisation de l'expert conduit naturellement les élèves à leur abandonner le terrain de la décision.

3.1.1.3.2 Statut donné à l'information scientifique

Tytler, Duggan & Gott (2001) explorent l'interaction des individus avec l'information scientifique dans son étude de cas d'une communauté en lutte avec une question locale : la combustion de fuel recyclé dans des fours de ciment. Ils analysent tous les documents publics ayant trait à cette controverse et réalisent des entretiens semi-structurés avec 3 membres de la communauté.

Leur étude focalise sur la construction, l'interprétation et l'utilisation de l'information scientifique par une communauté de non-scientifiques.

Trois classes majeures de preuves sont alors référencées :

- la preuve scientifique, fondée sur des données matérielles ;
- la preuve informelle, fondée sur les représentations, l'expérience personnelle, etc. ;
- les problèmes qui empiètent sur la preuve : les valeurs personnelles liées à l'environnement, l'économie, la morale, etc. altèrent la manière avec laquelle les individus répondent aux 2 preuves précédentes.

D'après les auteurs, le plus important pour l'évaluation d'une information pertinente est la preuve informelle : « we have described informal evidence as a bridge that links, for individuals (including, presumably, individual scientists), personal and public ways of looking at the world with the more formal and structured data sets generated within a scientific methodology » (p. 827).

Si dans l'étude de Tytler, Duggan & Gott (2001) c'est le statut donné à la preuve scientifique qui permet de faire résonner informations scientifiques et valeurs personnelles, le statut de l'information scientifique gêne les élèves dans l'étude de Sadler, Chambers & Zeidler (2004, p. 402). En effet, les élèves conçoivent l'information scientifique naïvement en confondant hypothèses, prédictions et données scientifiques : « the fact that just under one-half of the students sampled were not able to accurately identify and describe data is alarming. (...) Most students could at least differentiate the data presented in the articles from other types of information, but some equated predictions and opinions with data ».

Le statut donné à l'information scientifique est ainsi primordial pour évaluer correctement l'information.

3.1.2 Les effets d'un enseignement de/par les controverses socioscientifiques sur l'apprentissage des élèves

Certaines recherches s'intéressent plus particulièrement aux effets d'un enseignement de/par des controverses socioscientifiques sur l'apprentissage des élèves : effets sur la motivation des élèves (3.1.2.1), sur l'apprentissage des connaissances scientifiques (3.1.2.2), sur l'argumentation des élèves (3.1.2.3).

3.1.2.1 Quels sont les effets sur la motivation des élèves ?

Une des hypothèses fondatrices de l'enseignement de/par les controverses socioscientifiques est qu'en proposant à des élèves des situations qu'ils peuvent rencontrer dans leur vie quotidienne, leur engagement dans l'apprentissage sera plus important.

Sadler (2009, p. 20) montre qu'une majorité d'études confirme effectivement cette hypothèse : « taken together, the papers reviewed in this section provided a great deal of evidence supporting the idea that SSI-related interventions are interesting from the perspective of students and that these interventions are motivating contexts for learning ».

3.1.2.2 Quels sont les effets sur les connaissances scientifiques des élèves ?

Sadler (2009) synthétise dans sa revue de littérature les effets d'un enseignement de/par des controverses socioscientifiques sur l'apprentissage de connaissances scientifiques. La plupart des recherches sur ce thème note que les élèves apprennent autant d'/par une controverse socioscientifique que d'un enseignement « traditionnel ». De même, l'étude de Jiménez-Alexandre & Pereiro-Munoz (2002, p. 1188) montre que les connaissances scientifiques des élèves sont profondes car construites dans une situation d'engagement fort : « to reach a

conclusion, they had apply conceptual knowledge at more than a surface level, such as the effect of the drainpipe on the animals and plants through the lack of water or the destruction of their habitat. The comparison of the warrants used by them and by an external, “official” expert shows a great amount of concordance in the content, supporting the claim that they were not just passive “knowledge consumers” ».

Un enseignement explicite de l’argumentation (définition, analyse structurelle, exemples pratiques) conduit à un développement conjoint chez les élèves de leurs capacités argumentatives et de leurs connaissances scientifiques : « results of the analysis of both written tests and transcripts of group discussions support the conclusion that integrating explicit teaching of argumentation into the teaching of dilemmas in human genetics enhances performance in both biological knowledge and argumentation » (Zohar & Nemet, 2002, p. 57).

De même un enseignement explicite sur une controverse (économie et écologie de l’exploitation des eaux souterraines) a conduit à un développement de la compréhension conceptuelle des élèves (Yang, 2004).

Toutefois, Yang (2004) remarque que la limitation du développement des raisonnements scientifiques provient d’idées naïves sur la nature de la science : « such a finding suggests that high school students do not have proper understanding about the role of theory in scientific investigations and the ways evidence is used to test theories and the hypotheses derived from them » (p. 1356).

3.1.2.3 Quels sont les effets des ingénieries sur l’argumentation des élèves ?

La variété des situations possibles proposées aux élèves (débat, jeu de rôle, échange avec un expert, etc.) entraîne un apprentissage des élèves sur une variété de compétences : travail écrit / oral ; travail sur la structure de l’argumentation ; sur la prise de décisions ; sur la source des documents ; sur les mécanismes du débat ; etc. (Simonneaux, 2001a).

L’enseignement explicite de l’argumentation a également un effet positif sur la qualité de l’argumentation des élèves (Simonneaux & Simonneaux 2005 ; Osborne et al., 2004 ; Zohar & Nemet, 2002).

En effet, Simonneaux & Simonneaux (2005, p. 103) ont noté une amélioration de la qualité de l’argumentation écrite des élèves, car ceux-ci réinvestissent le travail fait sur l’analyse interdiscursive de textes divergents. Il ressort tout de même que, en ce qui concerne la structuration de l’argumentation, le travail écrit semble plus abouti que le travail oral : « s’il semble bien que l’analyse interdiscursive menée avec les élèves sur des textes divergents ait un impact sur la qualité de l’argumentation écrite des élèves, l’argumentation orale est plus influencée par des facteurs sociaux (engagement politique des élèves, position de leader dans la classe) ».

L’article de Osborne, Erduran & Simon (2004, p. 1015) met aussi en avant un progrès dans la qualité de l’argumentation des élèves, après un travail explicite sur les arguments : « the main message is that all of these studies, including our own, show that improvement at argumentation is possible if it is explicitly addressed and taught ». Toutefois, Osborne (2004, p. 1015) tempère les progrès réalisés : s’il considère qu’il y a amélioration, des progrès significatifs dans la qualité de l’argumentation ne peuvent être réellement significatifs qu’après un travail plus soutenu : « this suggests that developing the skill and ability to argue effectively is a long-term process— something that comes only with recurrent opportunities to engage in argumentation throughout the curriculum rather than during the limited period of 9 months of our intervention ».

De plus, Osborne, Erduran & Simon (2004, p. 1015) montrent qu'il est plus facile pour les élèves d'argumenter dans un contexte de controverse socioscientifique que purement scientifique : « in the context of socioscientific issues, students can draw on ideas and knowledge developed informally through their own life world experiences, and their ethical values. In contrast, argument in a scientific context requires very specific knowledge of the phenomenon at hand and at least a feel for the criteria for evaluating scientific evidence. Without this resource, constructing arguments of quality will be severely restricted and hampered ».

Les ingénieries construites permettent donc une amélioration de l'argumentation des élèves, notamment après un enseignement explicite de l'argumentation.

3.1.3 Conclusion

Les recherches menées sur l'apprentissage des élèves relèvent des problématiques suivantes :

- Études de l'argumentation des élèves : ils utilisent des formes variées de discours, ils mobilisent peu les connaissances scientifiques et leurs arguments peuvent être classés en 2 catégories : un registre épistémologique (souvent de type réaliste) et un registre social.
- Études sur la prise de décision : les élèves ont une conception empirico-réaliste de la preuve scientifique ; cette conception apparaît comme cruciale dans la prise de décision. En l'absence de preuve indiscutable, ce sont les valeurs de l'élève qui orientent la décision. Les connaissances scientifiques sont nécessaires à une prise de décision informée, car elles supportent le raisonnement mais ce sont les valeurs qui dirigent la prise de décision.
- Évaluation de l'information par les élèves : ils remettent peu en question la source de l'information. En ce sens, l'autorité de l'expert n'est pas interrogée. Le statut donné à l'information scientifique est important pour une évaluation correcte des informations.
- Études des effets d'un enseignement de/par des controverses socioscientifiques : les élèves sont motivés par un tel enseignement, leurs connaissances scientifiques évoluent autant qu'avec un cours « traditionnel », leur argumentation progresse également.

Dans toutes les recherches, il apparaît que l'image de la nature de la science qu'ont les élèves est une composante essentielle de la forme que prend leur raisonnement : la place centrale de la preuve considérée comme résultat d'une « experimentum crucis », la controverse considérée comme un manque de science plutôt que comme fonctionnement normal de la science, la délégation de la décision aux experts sont autant d'éléments qui conditionnent la manière dont les élèves négocient avec une controverse socioscientifique.

3.2 Recherches sur l'enseignement de/par une controverse socioscientifique

Les recherches liées à l'enseignement de/par une controverse sont beaucoup moins nombreuses que celles ayant trait à l'apprentissage des élèves.

Les méthodologies utilisées sont pour la majorité des études fondées sur l'utilisation de questionnaires et d'entretiens. Elles permettent ainsi d'avoir accès à ce que les enseignants disent de leur pratique et de leur rapport aux controverses. Plusieurs dimensions de l'activité enseignante explicitée par les enseignants sont ainsi explorées : quelles perceptions ont-ils de l'enseignement des sciences (3.2.1) ? Quel intérêt ont-ils pour un enseignement de/par des controverses socioscientifiques (3.2.2) ? Quelles contraintes perçoivent-ils à la mise en place d'un tel enseignement (3.2.3) ?

La prise en compte de ces différents éléments permet de dresser des profils différenciés d'enseignements de/par les controverses socioscientifiques (3.2.4).

Si la grande majorité des recherches fonde ses résultats sur l'entretien d'enseignants, nous aborderons également les quelques études qui analysent les pratiques d'enseignement de/par les controverses socioscientifiques (3.2.5)

3.2.1 La perception des enseignants de l'enseignement des sciences

Une partie de l'étude d'Albe & Ruel (2008) s'intéresse aux perceptions des enseignants de sciences de l'enseignement des sciences. Ceux-ci font état de plusieurs types de difficultés.

La première concerne le manque de motivation des élèves. Il est interprété par les enseignants comme la conséquence de l'image négative que les élèves ont de la science scolaire. Ils estiment que, du point de vue des élèves, l'enseignement de la science est par nature un enseignement élitiste, réservé à une minorité « douée ».

Une deuxième difficulté perçue est liée au manque de contextualisation des savoirs enseignés. Certains enseignants déclarent ainsi qu'ils ont du mal à faire le lien entre « la réalité et la science ».

Une autre remarque récurrente concerne les programmes. La plupart des enseignants interrogés déclare que les programmes sont trop chargés.

Les entretiens menés dans cette étude s'attachent à interroger également les enseignants sur les objectifs d'un enseignement des sciences.

Les discours des enseignants mettent ainsi en avant que l'enseignement de sciences permet de développer l'esprit critique des élèves et permet une compréhension élargie du monde. Ils adhèrent ainsi au mouvement « la science pour tous » (Albe & Ruel, 2006a, 2008). Cependant Albe & Ruel (2006a, p. 35) notent que « si l'objectif de développer une « culture » apparaît présent dans le discours des enseignants et dans une moindre mesure celui de développer « l'esprit critique » des élèves, les significations accordées à ces objectifs semblent floues ou peu définies ». De même, l'analyse des discours enseignants d'Albe & Ruel (2008) montre que ceux-ci relaient les discours officiels sur la culture scientifique sans l'argumenter et sans en avoir assimilé les objectifs.

3.2.2 L'intérêt pédagogique perçu de l'enseignement de/par une controverse socioscientifique

Sadler, Amirshokoohi, Kazempour & Allspaw (2006) citent l'étude de Mitchener & Anderson (1987)²⁹ dans laquelle les auteurs distinguent 3 types d'enseignants suivant la considération qu'ils ont pour un enseignement de type STS :

- certains enseignants considèrent les STS comme un moyen de lier science et « vie réelle » des étudiants ;
- d'autres perçoivent les STS comme appartenant aux sciences humaines et donc, selon eux, elles ne constituent pas un enseignement de sciences ;
- enfin les derniers sont intéressés mais trouvent qu'il y a des contraintes (temps, etc.) qui empêchent la mise en place de tels enseignements.

Majoritairement, les enseignants perçoivent favorablement l'émergence des controverses dans le champ de l'enseignement : « [the teachers] feel that such an exploration would help to build self-confidence, develop critical thinking, and engender sensitivity to the rights of others » (Levinson, 2004, p. 355). Cette attitude positive se lit toutefois à deux niveaux.

- Cet enseignement permet de motiver les élèves. Selon Albe & Ruel (2006a, p. 46), « les questions de société peuvent être utilisées comme une accroche motivante à l'étude de connaissances scientifiques ». Dans ce cas, c'est la capacité à susciter l'intérêt des élèves qui est recherchée, et non la volonté de traiter la complexité inhérente aux controverses. C'est alors un traitement superficiel de la controverse qui a lieu en classe (un « faux débat » selon Albe & Ruel, 2006a).
- Cet enseignement renvoie fortement à une éducation des élèves par l'enseignement des sciences. Lee, Abd-El-Khalick & Choi (2006, p. 99) considèrent alors une autre approche, moins superficielle : « research both within and outside Korea indicates that teachers perceive positively the need to address SSI in the science classroom and agree that this will help students develop decision-making skills and apply science learning to their everyday lives (e.g., Choi et al.³⁰, 2000 ; Cross & Price, 1996 ; Lumpe, Haney & Czerniak³¹, 1998) ». Dans ce cas, ce qui est recherché dans l'enseignement de/par des controverses socioscientifiques, c'est la possibilité d'éduquer les élèves à la citoyenneté via un travail sur la prise de décision en contexte incertain. Cet enseignement permet également, du point de vue des enseignants, aux élèves de mieux comprendre la nature de la science.

Si la perception est globalement positive chez les enseignants, les chercheurs constatent que l'enseignement de/par les controverses socioscientifiques est un enseignement qui ne trouve place qu'à la marge des pratiques quotidiennes des enseignants (Désautels & Larochelle, 2004 ; Albe & Ruel, 2006a ; Lee, Abd-El-Khalick & Choi, 2006) : « at best, teachers made brief declarative statements or asked rhetorical questions about these issues simply in the course of addressing the science content required by the curriculum or as a means of capturing student attention when discussing that content » (Lee, Abd-El-Khalick & Choi, 2006, p. 112). De même, Sadler, Amirshokoohi, Kazempour & Allspaw (2006, p. 357) écrivent : « teachers

²⁹ Mitchener, C.P. & Anderson, R.D. (1987). Teachers' perspective: Developing and implementing an STS curriculum. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, 351–369.

³⁰ Choi, K., Cho, H. & Kim, J. (2000). The effects of socioscientific education in science classes on middle school students' attitude toward science. *Journal of Korean Association for Research in Science Education*, 20, 642-651.

³¹ Lumpe, A.T., Haney, J.J., & Czerniak, C.M. (1998). Science teacher beliefs and intentions to implement science-technology-society (STS) in the classroom. *Journal of Science Teacher Education*, 9, 1-24.

tended to embrace the idea of using controversial SSI in science classrooms, but far fewer actually incorporated the topics into their curricula on a consistent basis ».

Quels freins à l'introduction des controverses socioscientifiques en classe sont alors considérés par les enseignants ?

3.2.3 Les contraintes perçues de l'enseignement de/par une controverse socioscientifique

Plusieurs types de contraintes sont identifiés par les enseignants. Ce sont tout d'abord le poids des programmes et le format des examens qui sont mis en avant (3.2.3.1). Le manque de confiance des enseignants en leur pratique de classe est également un élément qui freine les enseignants à s'investir dans un enseignement de/par les controverses socioscientifiques (3.2.3.2). De même, si les enseignants hésitent à aborder ce type d'enseignement, c'est que leur posture leur pose question : que faire de leur propre point de vue sur la controverse ? Les valeurs portées par les enseignants sont ainsi interrogées (3.2.3.3).

3.2.3.1 Le poids du programme et des examens

Pour Bryce & Gray (2004, p. 729), « pupils, like teachers, acknowledged the shortage of time and the pressure of examination ».

Le poids du programme et des examens est identifié comme une contrainte forte par les enseignants interrogés (Bryce & Gray, 2004, p. 729 ; Albe & Ruel, 2006a).

Plusieurs justifications sont données :

- Le programme est difficile à terminer. Les enseignants interrogés expriment la difficulté à introduire des actions pédagogiques liées aux controverses socioscientifiques car l'organisation de séances portant sur ces dernières prend du temps, et l'essentiel pour eux est de « boucler le programme ». Ainsi, si les enseignants se déclarent favorables à l'émergence de controverses en classe, ils restreignent le débat à des réponses occasionnelles à quelques questions d'élèves (Albe & Ruel, 2006a).
- La préparation des examens structure fortement l'enseignement et contraint par conséquent l'action des enseignants. Un enseignant se justifie ainsi dans l'article d'Albe & Ruel (2006a, p. 45) : « pour moi l'examen c'est un moule parce qu'il faut le Bac ».
- Les formats d'évaluation sont également mis en avant. Qu'évaluer dans un enseignement de/par les controverses socioscientifiques ? Dans leurs entretiens avec des enseignants, Lee, Abd-El-Khalick & Choi (2006) remarquent par exemple que les enseignants éprouvent des difficultés à évaluer la performance des élèves en lien avec les dimensions morales et éthiques que soulèvent les controverses.

3.2.3.2 Le manque de confiance des enseignants en leur pratique

Les recherches de Lee, Abd-El-Khalick & Choi (2006) et de Bryce & Gray (2004) montrent que les enseignants estiment qu'ils manquent de confiance pour aborder les controverses en

classe : « it was very apparent that many teachers lacked confidence in handling such topics » (Bryce & Gray, 2004, p. 726). Ce manque de confiance est dû selon ces études :

- à la perception d'un manque de connaissances sur les objets de controverse ;
- à un manque de ressources pédagogiques disponibles ;
- au manque d'habitude à enseigner ce genre de savoirs ;
- à la perception d'une incapacité à changer de méthode d'enseignement.

Selon Legardez (2006, p. 27) et Alpe (2006), une des caractéristiques de l'enseignement de controverses est en effet liée au « risque à enseigner ». Simonneaux (2006, p. 56) écrit également que « enseigner des questions socioscientifiques controversées présente des risques potentiels : sortir de la posture rassurante de l'enseignement de faits scientifiques, gérer des situations où émotions et raisons s'entremêlent ». Le manque de confiance des enseignants est par conséquent lié également à leur perception d'un risque à enseigner ce genre de savoirs, d'autant plus que la forme scolaire utilisée est en rupture avec la forme scolaire classique.

3.2.3.3 Difficultés pour l'enseignant à se positionner face à l'expression de ses valeurs en classe

Plusieurs études (Bryce & Gray, 2004 ; Albe & Ruel, 2006b ; Albe & Ruel, 2008 ; Simonneaux, 2006 ; Sadler, 2006) font état de la volonté des enseignants de tenir une posture « neutre » face aux savoirs controversés. Toutefois cette position n'est pas facile à tenir, comme l'écrivent Bryce & Gray (2004, p. 730) : « the teachers involved in this research were firmly aware of the neutral position they felt proper to adopt. Nevertheless, there were numerous issues where they felt under pressure (ranging from parental views, religious affiliations of pupils) ». Dans l'étude de Sadler (2006, p. 370), la plupart des enseignants déclare que « if students really pressed them on an issue, they would present their opinions and necessarily reveal their values relevant to the issue ».

Dans cette même recherche, certains enseignants considèrent que laisser de côté leurs valeurs impliquerait que ces valeurs n'aient pas de rôle dans les controverses. Ils justifient donc l'expression de leurs valeurs en classe.

Le modèle de Kelly (1986)³² est utilisé par Simonneaux (2006) pour décrire les différentes postures des enseignants sur la neutralité de la position adoptée. Quatre postures sont identifiées dans ce modèle : la neutralité exclusive, la partialité exclusive, l'impartialité neutre et l'impartialité engagée (Simonneaux, 2006, p. 53).

- La « neutralité exclusive » renvoie à une image positiviste des savoirs et de la science. Les valeurs ne sont pas abordées car seuls les faits sont considérés.
- La « partialité exclusive » est l'intention délibérée de conduire les élèves à adopter un point de vue particulier. Il y a alors minoration des points de vue alternatifs.
- Dans le cas de l' « impartialité neutre », les enseignants ne dévoilent pas leur point de vue (soit pour ne pas montrer une position d'incertitude ou d'ignorance ; soit pour ne pas influencer l'argumentation des élèves).
- Dans la posture de l' « impartialité engagée », les enseignants donnent leur point de vue tout en favorisant l'expression des points de vue des élèves. Il s'agit de la posture préférée par Kelly. Oulton, Dillon & Grace (2004, p. 417) défendent aussi l'expression explicite du point de vue des enseignants : « at the very least, our rejection of balance and acceptance that all materials and judgments about teaching and learning strategies are open to bias leads us to argue that teachers should make their position explicit at

³² Kelly, T. (1986). Discussing controversial issues : four perspectives on the teacher's role. *Theory and research in Social Education*, 14, 113-138.

the start of the exercise so that pupils are aware of potential bias in the way the teacher has arranged the experience and in what they say and do ».

Pour Sadler (2006, p. 372), la question de la prise en compte des valeurs par les enseignants est centrale car « teachers cannot avoid expressing their values: the question is whether they choose to have their values revealed explicitly or implicitly ».

3.2.4 Profils différenciés d'attitudes d'enseignants par rapport à l'enseignement par des controverses socioscientifiques

Nous nous appuyons ici sur les profils dressés dans l'étude de Sadler, Amirshokohi, Kazempour & Allspaw (2006) à partir d'entretiens d'enseignants. Ils ont en effet construit cinq profils correspondants à cinq attitudes d'enseignement de/par les controverses socioscientifiques. Là où ces chercheurs nomment les profils par les lettres de A à E, nous avons choisi de proposer une nomination qui facilite la lecture et l'identification des propriétés des profils :

- attitude « engagée » (3.2.4.1) ;
- attitude « engagée généralisée » (3.2.4.2) ;
- attitude « inhibée » (3.2.4.3) ;
- attitude « désengagée » (3.2.4.4) ;
- attitude « opposée » (3.2.4.5)

Il est à noter que, si nous retrouvons les points exposés en 3.2.1, 3.2.2 et 3.3.3, les profils construits ne recouvrent qu'à une exception près la posture que les enseignants adoptent dans l'expression de leurs valeurs en classe (Sadler, Amirshokohi, Kazempour & Allspaw, 2006, p. 370).

3.2.4.1 L' « attitude engagée »

Ce profil correspond à des enseignants qui partagent les caractéristiques suivantes : pour eux, les controverses socio-scientifiques doivent occuper une place importante dans l'éducation ; l'éthique et les valeurs des individus sont nécessairement impliquées dans les controverses socio-scientifiques ; ils abordent cette problématique en classe.

Ils justifient leur point de vue par la nécessité d'informer les citoyens pour aider à la prise de décision et les controverses socioscientifiques sont un moyen de connecter la science avec la vie des élèves.

Pour ces enseignants, l'enseignement est centré sur l'élève, l'enseignant est alors perçu comme celui qui permet de faciliter l'expression de la pensée et du discours. Ils utilisent une variété de stratégies pour aborder les controverses socio-scientifiques : discussions de classe, jeu de rôle, débat, etc.

Dans ce profil, les enseignants se distinguent tout de même par la différence d'importance qu'ils attribuent aux controverses socioscientifiques : pour certains, ces situations constituent le cœur de leur enseignement alors que pour d'autres, il s'agit plutôt de son supplément d'âme. Ces enseignants perçoivent des contraintes liées à la limitation du temps, les intérêts des parents, le manque de support pédagogique, le format contraint des évaluations et des examens. Toutefois ces contraintes sont perçues comme surmontables par ces enseignants dont nous qualifions l'attitude d' « engagée ».

3.2.4.2 L' « attitude engagée généralisée »

Les enseignants de ce profil partagent les caractéristiques du profil précédent, sauf qu'ils ont une conception plus profonde de ce qu'ils entendent par valeurs.

Pour eux, aborder les valeurs ce n'est pas uniquement traiter de controverses socioscientifiques, c'est favoriser le développement éthique de l'étudiant. Ainsi, peu importe la matière et les contenus, aborder les valeurs est fondamental dans le projet éducatif des enseignants de ce profil. S'ils abordent les controverses socioscientifiques en classe, ce n'est pour eux qu'une porte d'entrée parmi d'autres, pour éduquer le citoyen.

Dans l'étude de Sadler, Amirshokohi, Kazempour & Allspaw (2006), ces enseignants militent pour l'expression de leurs propres valeurs en classe (« impartialité engagée » de Kelly (1986)).

3.2.4.3 L' « attitude inhibée »

Les enseignants de ce profil partagent la majorité des caractéristiques du profil « attitude engagée ».

La différence est qu'ils n'arrivent pas à surmonter les contraintes perçues.

Ils passent par conséquent très peu de temps sur les controverses socioscientifiques, sauf quand la situation en classe fait qu'elles arrivent à émerger. Les controverses socioscientifiques sont donc abordées de manière occasionnelle et informelle.

Les contraintes perçues (manque de temps, absence de controverses socioscientifiques dans les programmes, manque de formation et de matériels pédagogiques, perception d'un risque à enseigner) inhibent l'engagement des enseignants pour aborder en classe un enseignement de/par les controverses.

3.2.4.4 L' « attitude désengagée »

Les enseignants de ce profil considèrent que l'éthique et les valeurs sont nécessairement impliquées dans une controverse socioscientifique mais, pour eux, aborder ces questions n'est pas une priorité.

Ils déclarent en effet que c'est à d'autres enseignements (les « humanités ») d'aborder ce genre de questions, car ce n'est pas l'objet d'un cours de science.

Si une controverse émerge, l'enseignant autorise une discussion informelle limitée avec les élèves mais ne les encourage pas à une exploration plus approfondie.

Les mêmes contraintes que précédemment sont citées mais elles viennent secondairement.

3.2.4.5 L' « attitude opposée »

Pour les enseignants de ce profil, la science et l'éthique sont indépendantes, ils sont donc foncièrement opposés à aborder des questions à enjeu éthique en classe. Ils adhèrent à une vision positiviste de la science. Si une controverse socioscientifique émerge en classe, seuls les faits et les données scientifiques méritent discussion.

Ils mettent en doute le principe d'une alphabétisation scientifique dont la finalité serait la prise de décision raisonnée d'un citoyen sur une controverse socioscientifique : selon eux, seuls les experts sont aptes à prendre des décisions.

3.2.5 Résultats des recherches d'analyse de pratiques d'enseignement

Très peu d'analyses de pratiques ont été effectuées, ce qui permet à Bryce & Gray (2004, p. 118) d'écrire : « from a research perspective, the territory is relatively unexplored too, and it is not confined to the UK. Throughout Europe, according to Jenkins³³, '... the literature suggests that the policy-practice interface is seriously under-researched in science education' (2001) ». Levinson (2004, p. 366) utilise l'approche communicationnelle de Mortimer & Scott (2003)³⁴ pour décrire l'action d'une enseignante dans un cours de génétique abordant des questions bioéthiques. Il note que « opportunity for interactivity or dialogue appears to be lost when the teacher is working in unknown or unanticipated territory. One of the ironies is that, where an interactive-dialogic exchange did develop among students, it was the teacher's intervention that halted the exchange. Including ethical questions in science lessons may result in foreclosing dialogue, with the teacher's adopting an authoritative approach rather than encouraging democratic decision making and critical thinking – the supposed motives for incorporating controversial issues in science ».

Levinson (2004, p. 366) distingue de plus dans cette étude des différences d'approche entre enseignants de sciences et enseignants de lettres et sciences humaines dans la prise en compte de l'incertitude dans leur cours : « evidence reveals systematic differences in the pedagogical approaches of humanities and science teachers ; the former tend to place children's interpretations at the center of their work, whereas science teachers base their pedagogy much more emphatically on established knowledge, leaving little room for uncertainty (Donnelly, 1999)³⁵ ».

3.2.6 Conclusion

Les recherches sur l'enseignement des controverses socioscientifiques utilisent presque exclusivement une méthodologie constituée de questionnaires et d'entretiens. Elles montrent que si la majorité des enseignants est intéressée par l'émergence de ces questions en classe, très peu les mettent en œuvre dans leur enseignement. Deux types de contraintes sont identifiés : des contraintes situationnelles sont évoquées par les enseignants telles que le manque de temps dû à des programmes chargés, le poids des examens et les formats d'évaluation ; des contraintes liées aux savoirs controversés eux-mêmes et aux formes scolaires nécessaires à leur enseignement : manque de confiance des enseignants, risque à enseigner dû à l'incertitude inhérente à ces savoirs, posture délicate de l'enseignant quant à l'expression de ses propres valeurs ou points de vue sur la controverse.

³³ Jenkins, E. W. (2001). Research in science education in Europe : retrospect and prospect. In H. Behrendt et al. (eds.) *Research in Science Education – Past, Present and Future* (Dordrecht : Kluwer Academic Publishers) (papers presented at the ESERA Conference, Kiel, 1999)

³⁴ Mortimer, E. & Scott, P. (2003). Analysing discourse in the science classroom. In R. Millar, J. Leach, & J. Osborne (Eds.), *Improving science education* (pp. 126-142). Buckingham, UK : Open University Press.

³⁵ Donnelly, J. (1999). Interpreting differences : the educational aims of teachers of science and history, and their implications. *Journal of Curriculum Studies*, 31, 17-41.

Résumé du chapitre 3

Notre état des lieux des recherches sur les controverses socioscientifiques en milieu scolaire est structuré en 2 parties suivant qu'elles s'intéressent aux élèves ou aux enseignants.

L'enjeu des recherches centrées sur les élèves est de comprendre quels savoirs sont mobilisés par les élèves et peuvent être développés dans des situations d'apprentissage composées de controverses socioscientifiques. Du point de vue des enseignants, l'enjeu est de comprendre quels sont les leviers / freins qui régulent la mise en place de ces situations en classe.

Les recherches montrent que la représentation empirico-réaliste de la science qu'ont les élèves inhibe le développement de savoirs sociaux liés à l'activité scientifique. De même, la grande stabilité des pratiques enseignantes, dans la faible mise en pratique de nouvelles formes scolaires et le rejet de l'incertitude inhérente aux controverses, véhicule une conception de la « science faite ».

Il nous semble par conséquent qu'un des enjeux des recherches est de comprendre comment des situations liées à la « science en action » peuvent cohabiter avec des situations liées à la « science faite ».

Questionner la place des situations où la science est « en action » dans un enseignement majoritairement lié à la « science faite » peut se formuler en utilisant la métaphore de l'écologie : quelle est l'écologie au sein du système éducatif qui favoriserait la vie d'un enseignement de/par les controverses socioscientifiques ?

4. Écologie des situations d'apprentissage / enseignement de / par les controverses socioscientifiques : la question de l'habitat

Si les parties précédentes nous ont amené à interroger la place de la « science en action » dans une institution scolaire marquée par la « science faite », c'est pour constater que cette place est à la fois vitale pour l'avenir de la démocratie et marginale à l'heure actuelle dans le système scolaire.

Cette partie vise donc à préciser le lien qui existe entre « science faite » et « science en action » dans le milieu scolaire. Il s'agit donc ici de prendre un point de vue « écologiste » : à quelles conditions la « science en action » est-elle viable en milieu scolaire ?

Il est bien évident que la réponse à cette question dépasse largement notre travail de thèse. Cependant, cette partie a pour objectif de préciser ce que nous entendons par « écologie des savoirs » (4.1) afin d'affiner notre compréhension de la liaison entre « science en action » et « science faite » dans l'enseignement des sciences et des techniques (4.2). Nous reformulons ensuite la question de la viabilité de situations d'enseignement / apprentissage liées à la science en action dans le système scolaire en restreignant son domaine d'application (4.3).

4.1 Notion d'écologie des savoirs

Nous questionnons ici la place de la « science en action » dans un enseignement majoritairement lié à la « science faite » en utilisant la métaphore de l'écologie : quelle est l'écologie au sein du système éducatif qui favoriserait la vie d'un enseignement de/par les controverses socioscientifiques ? Par cette formulation, nous plaçons ce travail de thèse en prolongement du travail effectué par Albe (2009b).

Cette image de l'écologie a été travaillée par Chevallard pour aboutir à la notion d'écologie des savoirs. Chevallard (1994, p. 142) reprend la distinction biologique entre les concepts d'habitat et de niche : « les écologues distinguent, s'agissant d'un organisme, son *habitat* et sa *niche*. Pour le dire en un langage volontairement anthropomorphe, l'habitat, c'est en quelque sorte *l'adresse*, le lieu de résidence de l'organisme. La niche, ce sont les fonctions que l'organisme y remplit ; c'est en quelque façon la *profession* qu'il y exerce ». En transposant au cas des controverses socioscientifiques, on peut dire que la recherche s'est intéressée fortement à la *niche* des savoirs émergeant de l'étude des controverses. En effet, c'est surtout sur les fonctions de ces savoirs au sein d'un enseignement des sciences que les recherches se sont développées : éducation à la citoyenneté, apprentissage d'une vision socialisée des sciences, développement des capacités argumentatives, etc.

Un peu plus loin dans le même texte, Chevallard (1994, p. 142) observe qu'un changement d'habitat des savoirs produit un changement de niche, « que les objets de savoir nouvellement introduits, plongés tout à coup dans un écosystème différent, allaient changer de « profession », pour s'adapter à un environnement neuf où ils devraient entrer en interrelation avec de nouveaux « partenaires », pour composer avec eux des « associations » jusque-là inédites ».

Il nous semble que le lien entre changement d'habitat et changement de niche n'a été que peu pris en compte par les recherches. En effet, au contact des savoirs scientifiques « classiques », comment vont s'intégrer ces nouveaux savoirs ?

Pour continuer la métaphore de l'écologie, nous pouvons utiliser le concept de *couplage structurel* développé par Varela (1979, p. 64) : un organisme se transforme pour s'adapter à son environnement autant que l'environnement se transforme pour s'adapter au nouvel organisme. Cette transformation mutuelle se fait par interactions des éléments qui composent les deux ensembles. Ces interactions produisent « une sélection continue au sein des structures possibles du système », subordonnée au maintien de la topologie de l'organisme. Autrement dit, transposés à des savoirs, comment les savoirs issus des controverses vont-ils se transformer au contact des savoirs plus traditionnels ? Symétriquement, comment les savoirs traditionnels vont-ils évoluer pour que l'ensemble puisse vivre ? Qu'est-ce qui va être sélectionné au sein des savoirs pour assurer leur articulation mutuelle ?

C'est en ce sens qu'Albe (2009b, p. 177) défend l'idée de recherches sur « l'écologie des questions socialement vives » : « quelles fonctions didactiques, autrement dit quels rôles en termes d'apprentissage, les questions socialement vives assurent-elles ? Comment s'articulent-elles avec l'enseignement d'objets de savoirs plus traditionnels ? Autrement dit, comment les objets nouvellement introduits dans les programmes s'intègrent-ils aux éléments anciens qui n'ont pas été modifiés ? (...) Comment sont pris en compte en classe les différents types de savoirs et pratiques sociales à propos de controverses sociocientifiques ? Sur le mode de l'articulation ? D'une tension ? D'une sélection ? ».

4.2 La liaison de la « science en action » et de la « science faite » dans l'enseignement des sciences : une question complexe

La question de l'écologie des controverses socioscientifiques en milieu scolaire peut se poser à différents niveaux (programmes scolaires, pratiques des enseignants, points de vue des élèves ou des parents, etc.).

Nous nous intéresserons par la suite à l'enseignement de/par les controverses en classe, aussi nous réduisons l'étude de cette question à l'échelle de l'enseignant.

Dans les recherches, deux registres sont employés pour décrire le lien entre un enseignement polarisé sur la « science en action » et celui polarisé sur la « science faite » : le registre de la tension (4.2.1) et celui de l'articulation (4.2.2).

4.2.1 Utilisation du registre de la tension

Fourez (2002a, pp. 111-112) utilise le registre de l'opposition pour décrire la coexistence d'objectifs différents dans un même enseignement. Il écrit ainsi : « les cours visant une carrière scientifique se déclinent en physique, chimie, biologie. Ceux qui visent la formation citoyenne (et donc concernent la majorité des jeunes), parlent d'environnement, de pollution, de technologie, de médecine, de conquête spatiale, de l'histoire de l'univers et des vivants, etc. Dans l'une, la technicité d'une discipline est une fin en soi, dans l'autre c'est un moyen (Fourez

et al.³⁶, 1994). [...] Ainsi faut-il se situer face à deux perspectives souvent opposées mais pourtant complémentaires : la formation du citoyen et la préparation des spécialistes ».

Un entre-deux où les deux objectifs s'uniraient n'est toutefois pas simple à mettre en œuvre. Selon Fourez (2002a, p. 112), « la tension existe entre ceux qui privilégient l'alphabétisation scientifique et technique de tous et ceux qui visent d'abord la formation des futurs scientifiques », il s'agit alors ici d'une tension entre les prescripteurs qui conçoivent différemment les objectifs d'enseignement.

Cross & Price (1996, p. 325) utilisent aussi le registre de la tension pour décrire la présence de ces deux points de vue chez les enseignants : « conversations turned to the tension between science teachers' allegiance to value-free objectivity of science and the more modern view of the problematic nature of the scientific knowledge and the interests held by various scientists and stakeholders (Rose & Rose³⁷, 1969) ». De même, ils emploient le terme de « tension » dans les questions qu'ils posent aux enseignants dans leurs entretiens (p. 326). Selon ces chercheurs, la principale difficulté pour intégrer des controverses en classe vient d'une tension épistémologique entre deux visions différentes de la science: la science conçue comme activité et la science conçue comme un ensemble de savoirs.

4.2.2 Utilisation du registre de l'articulation

Dans sa préface du livre d'Albe (2009b), Tiberghien (2009, p. 12) développe l'idée que ces deux objectifs d'enseignement entrent en tension si leur articulation fait défaut : « ces deux approches, enseigner les sciences pour les comprendre ou enseigner les sciences pour traiter de questions sociales ne s'opposent pas a priori, elles peuvent être complémentaires. Cependant leur complémentarité doit être pensée car sinon il peut y avoir des oppositions, voire des contradictions dans les curriculums ». De même, le rapport de l'OCDE (2006, p. 11) remarque justement la difficile mais nécessaire articulation que doivent trouver ces objectifs : « le système éducatif doit répondre à deux exigences contradictoires, en particulier dans le primaire et le premier cycle du secondaire. La première consiste à transmettre les savoirs de base en sciences et techniques, que tous les citoyens devraient posséder, à familiariser l'ensemble de la population d'élèves à la réflexion scientifique, et à éveiller sa curiosité et son intérêt pour les sciences. La seconde exigence consiste à fournir des connaissances détaillées aux futurs professionnels des sciences et techniques. Alors que la première suppose une stratégie plutôt participative et ciblée sur l'éveil de l'intérêt, la seconde passe généralement par la transmission d'un corpus de connaissances plus théorique et plus complexe. Toute la difficulté est de bien doser les deux types de méthode d'enseignement et de contenus – problème qui est depuis longtemps au centre du débat sur l'enseignement des disciplines scientifiques ».

Dans ces deux points de vue similaires sur l'articulation des deux objectifs, nous pouvons remarquer que, outre la différence d'objectif, c'est une différence « d'approche » ou de « méthode d'enseignement et de contenus » qui est soulignée. Ainsi, ce qui peut faire tension, ce qui doit être complémentaire et finalement ce qu'il faut articuler, ce sont des objectifs d'enseignement et des pratiques de classe différents.

Tiberghien (2009, p. 13) écrit justement que «cette articulation est rarement discutée comme si elle allait de soi ». Pour éclairer son propos, Tiberghien (2009) prend le cas du fonctionnement d'une classe et montre comment l'introduction d'une controverse

³⁶ Fourez, G., Englebert-Lecomte, V. & Grootaers, D. (1994). *Alphabétisation scientifique et technique, essai sur les finalités de l'enseignement des sciences*. Bruxelles : De Boeck Université.

³⁷ Rose, H., & Rose, S. (1969). *Science and society*. Harmondsworth, UK : Penguin.

socioscientifique peut poser des questions sur les phénomènes didactiques standards qui ont lieu en classe.

4.3 L'enseignement de/par des controverses

socioscientifiques : quel habitat en milieu scolaire ?

Si les registres de l'opposition, de la tension et de l'articulation sont utilisés dans les recherches, c'est que la question d'un lien entre l'enseignement de la « science faite » et de la « science en action » pose problème.

D'un côté, l'enseignement de la « science faite » conçoit la science comme un produit fini, comme une somme de savoirs. Ce sont ces savoirs qui participent à la formation des scientifiques et des techniciens.

De l'autre, l'enseignement de la « science en action » conçoit la science comme une activité sociale de productions de savoirs. L'accent est mis sur la construction des savoirs et les controverses qui l'accompagnent. La confrontation des élèves à ce type de savoirs participe à la formation du citoyen.

La « science faite » et « la science en action » offrent par conséquent à voir deux épistémologies différentes de la science, et leur enseignement respectif répond à deux objectifs différents et prend donc une forme différente.

Résumé du chapitre 4

En prenant une perspective écologique, nous considérons que la question de « l'habitat » de la « science en action » en milieu scolaire est négligée par rapport à la question de la « niche » qu'elle représente, dans les études sur les controverses socioscientifiques en milieu scolaire.

S'intéresser à cet habitat consiste à examiner comment les objectifs complémentaires d'éducation citoyenne par la science et de formation de spécialistes scientifiques peuvent cohabiter dans le système scolaire.

Cet examen peut être mené à différents niveaux : depuis le point de vue des prescripteurs (par exemple : quelles conditions sur les programmes pour articuler science faite et science en action ?) jusqu'au point de vue de l'apprentissage des élèves (par exemple : quels critères pour évaluer l'apprentissage des élèves sur la science faite et la science en action ?)

Nous limitons notre étude au rôle de l'enseignant, quand il s'agit pour lui de faire vivre la science en action dans sa pratique de classe. Ainsi, si la liaison entre la « science en action » et la « science faite » est pensée sur les modes de la tension et de l'articulation, c'est que ce qu'il est nécessaire d'articuler pour un enseignant, ce sont deux points de vue différents sur la nature de la science : la science comme produit fini, somme de savoirs, et la science vue comme activité sociale de production de savoirs.

Il nous est donc nécessaire de mieux comprendre la particularité de ces deux approches de la science en contextualisant notre étude à des savoirs en particulier, l'un qui relèverait de la « science faite » et l'autre de la « science en action ».

Partie 2 : « Science faite » et « science en action » : deux exemples dans l'histoire et dans l'enseignement actuel de la physique

« Utilisez la nature, cette immense auxiliaire dédaignée. Faites travailler pour vous tous les souffles de vent, toutes les chutes d'eau, toutes les effluves magnétiques »

Victor Hugo, *Quatre-vingt-treize*, 1874.

« Qu'un prix Nobel de la Paix vienne récompenser le GIEC prouve assez que c'est bien toute la géopolitique qui se trouve agitée par une question de modélisation mathématique du climat de la Terre »

Bruno Latour

Pour un dialogue entre science politique et science studies

Revue française de science politique, 2008

Sommaire de la partie 2

5. L'ÉNERGIE COMME EXEMPLE DE « SCIENCE FAITE » : UNE ANALYSE HISTORIQUE, ÉPISTÉMOLOGIQUE ET DIDACTIQUE DU CONCEPT D'ÉNERGIE.....	57
5.1 Histoire du concept d'énergie.....	57
5.2 L'énergie dans les programmes de Physique qui correspondent à notre champ d'étude.....	66
5.3 Les recherches en didactique de la physique sur le concept d'énergie.....	67
Résumé du chapitre 5.....	72
6. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE COMME EXEMPLE DE « SCIENCE EN ACTION » : ANALYSE HISTORIQUE, ÉPISTÉMOLOGIQUE ET DIDACTIQUE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	73
6.1 Histoire du changement climatique en tant qu'objet scientifique.....	73
6.2 Le changement climatique : des controverses médiatisées.....	80
6.3 Le changement climatique dans les programmes de Physique.....	86
6.4 Le changement climatique : des recherches en didactique	86
Résumé du chapitre 6.....	91

5. L'énergie comme exemple de « science faite » : une analyse historique, épistémologique et didactique du concept d'énergie

Afin d'examiner les conditions d'articulation de la « science en action » et de la « science faite » en classe de physique, il nous faut choisir des savoirs particuliers afin de contextualiser notre étude.

Nous abordons ici le concept d'énergie, car il nous semble relever de la « science faite ». Nous justifions ce propos, en développant différentes dimensions de l'énergie. Tout d'abord, nous retraçons l'histoire de ce concept, en nous appuyant sur les travaux d'histoire des sciences les plus connus³⁸, jusqu'à son introduction dans l'enseignement des sciences en 1902 (5.1). L'énergie, en tant qu'il est un concept central de la physique, est présent dans beaucoup de programmes (différents niveaux / différents diplômes ou spécialités), aussi nous n'analysons dans notre travail que deux référentiels de formation liés à la classe de 1^{ère} Scientifique et de 1^{ère} Sciences et Techniques de l'Agronomie et du Vivant de l'enseignement agricole (5.2). Nous exposons également quelques résultats de recherche en didactique sur l'énergie (5.3).

Nous concluons alors sur le lien entre le concept d'énergie et la « science faite » en qualifiant de « traditionnel » le savoir scolaire lié à l'énergie en classe de physique.

5.1 Histoire du concept d'énergie

Nous utilisons principalement les travaux de Kuhn (1959), qui font référence dans l'histoire du concept d'énergie (Guedj, 2000, 2006). Après avoir lié le concept d'énergie et son principe de conservation (5.1.1), nous structurons l'histoire du concept autour de trois facteurs qualifiés de primordiaux par Kuhn (1959) : la disponibilité des processus de conversion (5.1.2), la construction du concept de travail à travers l'intérêt des ingénieurs pour les machines (5.1.3) et le contexte philosophique de l'époque, la Naturphilosophie et l'idéalisme allemand (5.1.4). Nous concluons cette partie en faisant le lien entre l'histoire du concept et son introduction dans l'enseignement au début du XX^{ème} siècle (5.1.5).

5.1.1 Comment définir l'énergie ?

Dans ses cours de Physique, Feynman (1963, p. 43) considère que l'énergie est un concept très difficile à définir : « il est important de réaliser que dans la physique d'aujourd'hui, nous n'avons aucune connaissance de ce qu'est l'énergie (...) C'est une idée très abstraite, car c'est un principe mathématique ».

³⁸ Nous ne nous sommes pas appuyés sur l'ouvrage de Smith, C. (1999). *The Science of Energy: A Cultural History of Energy Physics in Victorian Britain*. Chicago : University Of Chicago Press. Bien qu'il fasse référence dans l'histoire sociale du concept d'énergie, il nous apparaît trop contextualisé à la socioculture de l'Angleterre. Nous avons donc choisi une autre approche, plus « classique ».

On ne peut en fait dissocier le concept d'énergie de son principe de conservation : « le concept d'énergie n'est devenu un concept de la physique qu'à partir du moment où a été établi de façon irréversible qu'il existait une loi de conservation » (Balibar, 1999, p. 343).

Dans cet esprit, Poincaré (1902, p. 156) fait de cette conservation la principale teneur du concept : « dans chaque cas particulier on voit bien ce que c'est que l'énergie et on en peut donner une définition au moins provisoire ; mais il est impossible d'en trouver une définition générale. Si l'on veut énoncer le principe dans toute sa généralité et en l'appliquant à l'univers, on le voit pour ainsi dire s'évanouir et il ne reste plus que ceci : *il y a quelque chose qui demeure constant* ».

Comment en est-on venu à ce principe ?

Selon Kuhn (1959, p. 117), la « découverte » du principe de conservation de l'énergie est un exemple de « découverte simultanée » dans le sens où un grand nombre de chercheurs du 19^{ème} siècle, tout en forgeant des solutions différentes à des problèmes différents font émerger un même concept : « même pour l'historien le plus familiarisé avec le concept de conservation de l'énergie, les précurseurs ne livrent pas tous la même chose. D'ailleurs la plupart d'entre eux ne communiquèrent pas du tout. Ce n'est pas réellement la découverte simultanée de la conservation de l'énergie que nous lisons dans leurs travaux. Nous y voyons plutôt l'émergence rapide et souvent désordonnée d'éléments expérimentaux et conceptuels dont la théorie sera bientôt constituée ».

Kuhn (1959, p. 117) se demande « pourquoi, dans les années 1830-1850, un si grand nombre d'expériences et de concepts indispensables pour aboutir à une formulation complète de la conservation de l'énergie sont-ils tellement proches de la surface de la conscience scientifique ? ».

Pour les historiens des sciences (Kuhn, 1959 ; Guedj, 2000, 2006), trois facteurs primordiaux sont dégagés pour expliquer l'émergence du concept :

- la disponibilité des processus de conversion (5.1.2) ;
- l'intérêt des ingénieurs pour les machines (5.1.3) ;
- la progression de la Naturphilosophie et de l'idéalisme allemand (5.1.4).

Nous allons développer chacun de ces facteurs.

5.1.2 La disponibilité des processus de conversion

Par disponibilité des processus de conversion nous entendons que sur une période allant de 1800 à 1850 les possibilités expérimentales se sont multipliées (5.1.2.1) et les résultats de celles-ci s'inséraient avec difficulté dans le cadre théorique de la mécanique rationnelle (5.1.2.2). De nombreux savants ont dû alors créer leur propre cadre pour faire coïncider les nouveaux faits expérimentaux et l'ancien cadre théorique (5.1.2.3).

5.1.2.1 L'extension des possibilités expérimentales

Selon Merleau-Ponty (1979, p. 316), « tout à fait en dehors de la pratique des machines, les physiciens avaient poussé leurs recherches expérimentales dans de multiples domaines où les savants des siècles antérieurs n'avaient que rarement dépassé le niveau de l'empirisme préscientifique : les réactions chimiques, les effets de la chaleur, l'électricité, le magnétisme, l'optique physique ».

Kuhn (1959) insiste sur l'importance de la date de 1800 et de l'invention de la pile par Volta. Dans la pile de Volta, le courant électrique est créé par un phénomène chimique et, parallèlement, on peut dissocier des corps chimiques par application d'un courant électrique

(électrolyse). L'invention de la pile a ainsi permis aux scientifiques de bénéficier d'une source d'électricité facile à produire et donc de pouvoir multiplier les expériences sur l'électricité. La chimie a elle aussi progressé grâce à ce puissant moyen d'analyse qu'est l'électrolyse. On peut par exemple citer le cas de Davy qui mit en évidence le sodium et le potassium par décomposition de la soude et de la potasse en 1807.

Avec la pile, le nombre de conversions disponibles va augmenter : production d'effets magnétiques par un courant (Ørsted en 1820), production de courants induits (Faraday en 1831), production d'électricité par chauffage d'une jonction bimétallique (Seebeck en 1822) et déplacement différentiel de chaleur en présence d'un courant (Peltier en 1834).

Ainsi, à partir de 1830, on commence à voir dans ces phénomènes, non plus des faits isolés de la nature, inexplicables, mais des phénomènes de conversion. On passe donc d'un point de vue isolé sur ces phénomènes à un point de vue d'interaction : tous ces phénomènes sont liés puisque l'on peut passer de l'un à l'autre sans difficulté : « à l'époque, ceux qui effectuaient des recherches en laboratoire passaient forcément de certains phénomènes chimiques, thermiques, électriques, magnétiques ou dynamiques à des phénomènes appartenant à l'un des autres domaines, ainsi qu'à des phénomènes optiques. Des problèmes jusque là distincts furent rattachés entre eux par de nombreux liens » (Kuhn, 1959, p. 121).

Cette liaison entre phénomènes disparates dessine progressivement un nouveau visage pour la science, car ils ont du mal à s'intégrer au paysage scientifique de l'époque, fondé sur le projet de mécanique rationnelle hérité des travaux de Newton.

5.1.2.2 La mécanique rationnelle : un projet réductionniste

5.1.2.2.1 Quelques difficultés du projet hérité de Newton

Cette variété de phénomènes nécessite un cadre explicatif qui met à mal les principes mécaniques de l'époque : « les rapides progrès dans l'exploration expérimentale avaient créé une large béance entre, d'une part, l'armature formelle de la mécanique newtonienne et, de l'autre, les multiples données de fait résultant de cette exploration et qui auraient dû, selon l'idéal de la philosophie mécaniste, s'insérer dans ce cadre formel » (Merleau-Ponty, 1979, p. 318).

L'objectif principal des physiciens, de Newton jusqu'au milieu du XIX^{ème} siècle, est « d'adapter l'analyse newtonienne à toute la physique, autrement dit de décrire tout phénomène en termes de forces conçues sur le mode de l'attraction universelle » (Roux, 1999, p. 421). Ainsi, les travaux de Laplace et Lagrange se comprennent dans l'approfondissement de la notion newtonienne de force centrale.

Plusieurs éléments posent des difficultés au projet de réductionnisme mécanique issu des travaux de Newton : l'explication des phénomènes thermiques et des phénomènes chimiques font ainsi débat dans la communauté savante.

Par exemple, les travaux de Fourier se démarquent de la physique des forces de Newton en proposant une analyse mathématique de la conduction de la chaleur sous forme d'un flux continu (Guedj, 2006, p. 31). Jusqu'au milieu du XIX^{ème} siècle, la chaleur s'explique par deux théories opposées : pour l'une, elle est une substance, que Lavoisier nomme calorique (théorie substantialiste) ; pour l'autre, elle est une conséquence du mouvement mécanique des corpuscules qui composent les corps (théorie cinétique). Alors qu'au début du XIX^{ème}, la théorie du calorique domine, les nouveaux résultats expérimentaux renforcent la théorie cinétique.

Newton applique aussi sa théorie des forces à la chimie : la combinaison de substances exige des forces d'attraction entre particules (Blay & Halleux, 1998). Contrairement aux auteurs antiques et aux débats du début du XVII^{ème} siècle, les travaux de Newton et Boyle expliquent la réaction chimique non par la forme des corpuscules mais par le mouvement qui les anime. Ces travaux défendent donc une théorie cinétique qui s'oppose à une théorie substantialiste (par exemple le phlogistique de Stahl) très en vogue jusqu'au milieu du XIX^{ème} siècle.

Dans le cadre d'une conception cinétique, la description du choc continu des particules pose la question du lien entre mouvement et force : « le problème du choc est fondamental. Comment estimer la force d'un corps en mouvement libre ou dans une collision ? Les forces se perdent-elles dans une collision, ou sont-elles conservées ? » (Gabbey, 1998, p. 527).

5.1.2.2 Le concept de force : un concept central non stabilisé

Cette question de l'explication du choc et de la nature de la force associée (est-elle un élément du corps ou bien un effet extérieur sur le corps ?) est une question très difficile que les savants du XVII^{ème} siècle ont à affronter, notamment car « le mot force (...) a longtemps eu un double sens : à la fois capacité de produire le mouvement et réservoir de potentialités » (Balibar, 1999, p. 343). Si la première acception renvoie aux travaux dans la lignée de ceux de Newton, qui conçoivent la force comme égale à mv , la deuxième est dans la continuité des travaux de Leibniz et de sa « force vive » (*vis viva*), qui définissent la force par mv^2 ³⁹. Cette différence de sens du mot « force » a donné lieu à l'importante « querelle des forces vives » entre les partisans de Leibniz, qui soutenaient que la force s'exprime en mv^2 et les partisans de Descartes, pour qui elle s'exprime en mv . La conservation de la force dans une collision élastique s'exprimait par la conservation de la force vive mv^2 pour Leibniz et de la quantité de mouvement mv pour Descartes.

Les défenseurs du principe de conservation de la *vis viva* l'appliquaient à deux problèmes en particulier : exprimés en termes modernes, il s'agit d'une part de la comparaison de la perte d'énergie potentielle et du gain en énergie cinétique d'un corps tombant dans un champ gravitationnel, et d'autre part, des collisions élastiques.

Pour Kuhn (1959), c'est le traité de d'Alembert de 1743 qui propose la réflexion la plus complète sur le principe de conservation de la *vis viva*. Dans son ouvrage, le principe prend une tournure mathématique et entre sous forme intégrale dans les travaux de Laplace, Euler et Lagrange. Ils considéraient en fait le principe comme un outil mathématique de premier ordre pour mettre sous forme analytique des problèmes de statique.

C'est également dans le cadre conceptuel de la force vive que Jean Bernoulli introduit le mot « énergie »⁴⁰, qu'il définit « comme le produit de la force appliquée à un corps par le déplacement infinitésimal subi par ce corps sous l'effet de cette force » (Balibar, 1999, p. 344). Il fait suivre la définition qu'il donne de l'énergie par un principe de conservation. Toutefois, « pour Bernoulli, le concept important n'est pas celui d'énergie mais le concept leibnizien de force vive » (Balibar, 1999, p. 344).

³⁹ « En « mécanique », c'est-à-dire en statique, tout le monde parle de la « force » qu'il faut pour soulever un poids lourd à une hauteur donnée, et qui est proportionnelle au produit du poids par la hauteur. Plus le corps à soulever est lourd, ou plus la hauteur est élevée, plus la force nécessaire est grande. Parallèlement, la plupart des savants (à part Leibniz et ses partisans) parlent d'une autre « force », celle d'un corps en mouvement hors d'une situation statique, qui est à estimer par le produit de la quantité de sa matière (la masse), par sa vitesse (mv). Plus le corps en mouvement est grand, ou plus son mouvement est rapide, plus il a de force à mouvoir » (Gabbey, 1998, pp. 527-528).

⁴⁰ Lettre à Varignon du 26 Janvier 1717.

5.1.2.3 Quelques voies de formulation du principe de conservation de l'énergie

Dans ce contexte où le terme central de « force » fait débat, où les faits expérimentaux se multiplient dans les domaines de l'électricité, de la chimie et des échanges thermiques, de nombreux scientifiques vont « bricoler » leur cadre explicatif. Kuhn (1959) en dénombre douze mais la liste fait légitimement débat !

Nous décrivons dans cette partie quelques voies de formulation du principe de conservation de l'énergie, en suivant l'article de Kuhn (1959).

Faraday (en 1834) et Grove (en 1842) sont ainsi partis de leurs propres travaux et ont conclu à l'universalité des conversions. Kuhn (1959, p. 126) cite par exemple Faraday : « nous ne pouvons dire d'aucune [de ces puissances] qu'elle est la cause des autres, mais seulement qu'elles sont reliées entre elles et dues à une cause commune ».

Le mouvement de généralisation est dans ce cas issu de leurs expériences de conversion. Il faut cependant admettre avec Kuhn que cette universalité des conversions n'est pas la même chose que la conservation d'une grandeur.

C'est en 1840 que Faraday conclut que la conversion d'une « force » en une autre implique l'égalité de la cause et de l'effet, et que par conséquent, il ne peut y avoir de création de « force » *ex nihilo* (ni de destruction). Grove arrive, selon Kuhn, à la même conclusion en 1842 : si la « force » ne peut être créée ou détruite, c'est qu'elle se conserve.

Toutefois, il manquait à Grove et Faraday une relation quantitative pour pouvoir mesurer les conversions. En d'autres termes, il leur manquait un équivalent numérique, un étalon, pour pouvoir comparer les différentes manifestations de ce qu'ils appelaient « force » ou « power ».

La voie empruntée par Mohr (en 1839) et Colding est l'opposée de celle empruntée par Faraday et Grove. Alors que ceux-ci sont partis de leurs résultats expérimentaux, le point de départ de Mohr est une hypothèse métaphysique : la « force » se conserve. Il applique ensuite cette hypothèse pour expliquer ses résultats expérimentaux de conversion.

Liebig (1844) et Joule ont emprunté un chemin encore différent. Alors que Faraday et Grove ont dérivé le principe de multiples conversions, Liebig et Joule ne sont partis que d'une unique conversion. Joule a ensuite au cours de ces travaux retrouvé d'autres conversions : « les travaux de Joule montrent que la conservation de l'énergie a pu être découverte en partant d'un seul procédé de conversion, puis en traçant le réseau » (Kuhn, 1959/1990, p. 125). En effet, selon les travaux de Merleau-Ponty (1979, p. 321), « du mémoire A au mémoire E, l'avant dernier de la série, l'enquête est entièrement orientée vers l'établissement, puis la généralisation de la loi qui détermine la production de chaleur par le passage dans un conducteur, du courant produit par une pile donnée. (...) Et, dans le dernier mémoire F, il ne s'agit plus de cette loi mais du principe de l'équivalence et de la mesure de J^{41} ». Merleau-Ponty (1979, p. 321) pointe le paradoxe des recherches de Joule : « une recherche au départ très bien délimitée et étrangère aux problèmes spécifiques de la thermodynamique a engagé Joule dans une sorte de logique de l'énergétique qui l'a conduit à côté et, en un sens, au delà du point qu'il avait visé ». Ainsi, en 1843, en étudiant le lien entre le courant électrique et la chaleur produite, Joule conclut à la proportionnalité entre l'effet mécanique et la chaleur dégagée par un courant électrique. Il mesure alors J , l'équivalent mécanique de la chaleur.

⁴¹ J est l'équivalent mécanique de la chaleur.

Ces quelques exemples illustrent que le principe de conservation peut être atteint de multiples manières. Pour lier entre elles la grande variété des conversions possibles, il est nécessaire d'avoir un cadre théorique ou au moins un concept commun. En d'autres termes, le principe de la conservation de l'énergie rend compréhensible des phénomènes différents et seuls les phénomènes de conversion donnent un sens empirique à ce principe.

Selon Kuhn (1959), il manquait à Faraday, Grove et Mohr un concept quantifiable, et donc exploitable, de la grandeur conservée pour pouvoir énoncer pleinement le principe de conservation. Ce concept quantifiable, c'est celui de travail, qui dans le même temps clarifie celui de force et initie celui d'énergie.

5.1.3 L'intérêt des ingénieurs pour les machines : le concept de travail

5.1.3.1 De la force au travail : l'apport des ingénieurs

Ce sont les préoccupations liées à la révolution industrielle naissante qui ont permis de dépasser les débats sur la force héritée du XVII^{ème} siècle : c'est ce que Kuhn (1959) appelle l'intérêt pour les machines, liée à la « volonté de faire travailler des forces » (Guedj, 2003b, p. 1407).

En effet, c'est le concept de travail qui permet de joindre les concepts de force et d'énergie : « la formulation du concept de travail constitue l'aboutissement d'un processus intellectuel où se croisent les débats philosophico-scientifiques et les préoccupations pratiques des ingénieurs ; elle aboutit en effet à régler, sur un mode pratique, la « querelle des forces vives » (...) Mais simultanément, en concluant les débats scientifiques de l'âge classique, la formulation du concept de travail ouvre ceux de l'ère industrielle » (Vatin, 1999, p. 956).

De même, « le concept de travail est la contribution la plus décisive à la conservation de l'énergie qui résulte de l'intérêt que l'on porta aux machines tout au long du XIX^{ème} siècle » (Kuhn, 1959, p. 140).

Selon Vatin (1993, p. 15), la construction du concept de travail est liée à un « télescopage historique » entre la mécanique rationnelle et la science des machines, qui a donné naissance à la « mécanique industrielle ». Cette discipline fut fondée et développée en France au début du XIX^{ème} siècle et ses principaux contributeurs sont des élèves de l'école polytechnique : Coriolis, Navier, Poncelet. L'objectif de cette discipline est une analyse des machines à des fins d'optimisation de la production industrielle : « il s'agit de constituer un corps de doctrine pratique apte à guider l'ingénieur dans le choix des techniques productives les plus efficaces. La notion de travail prend son sens dans cette conception économique de la machine » (Vatin, 1999, p. 956).

Ces ingénieurs vont alors reformuler la *vis viva* $\frac{1}{2}mv^2$, nommer cette grandeur « travail », lui donner une unité afin de la mesurer, formuler une loi de conservation entre le travail fourni et la création d'énergie cinétique associée. Leurs travaux à visée pratique vont ainsi faire du travail un concept fondamental en dynamique.

Kuhn (1959) considère deux éléments principaux dans le rôle de l'intérêt pour les machines : les machines sont des exemples de processus de conversion à part entière et le concept de travail est un concept quantifiable⁴².

⁴² « Des neuf précurseurs qui ont réussi, partiellement ou complètement, à quantifier les processus de conversion, tous, à part Mayer et Helmholtz, soit avaient reçu une formation d'ingénieurs, soit travaillaient directement sur les machines lorsqu'ils ont fait leurs contributions à la conservation de l'énergie. Parmi les six qui calculèrent indépendamment la valeur du coefficient de conversion, tous sauf Mayer s'intéressèrent

5.1.3.2 Un point négligé par l'histoire des sciences : du concept de travail à celui d'énergie

C'est le sens des travaux de Guedj (2000, 2003b, 2006) d'avoir cherché comment on est passé du concept de travail à celui de l'énergie, en particulier dans les travaux de Thompson : « si l'utilisation du concept de travail se généralise au détriment du concept de force et constitue une étape majeure vers la formulation du principe de conservation de l'énergie, l'étape qui mène du travail vers l'énergie, est négligée par les auteurs » (Guedj, 2006, p. 33).

Suivons le raisonnement de Thompson, décrit par Guedj (2003b, 2006).

Le premier élément est de considérer la chaleur comme un état de mouvement microscopique. Par cette acceptation, Thompson intègre la chaleur à une théorie dynamique et la considération des données internes aux corps permet de faire le lien entre deux grandeurs macroscopiques appartenant à des domaines différents : le travail (grandeur macroscopique mécanique) et la température (grandeur macroscopique des sciences de la chaleur). Thompson peut désormais traiter la chaleur par son équivalent mécanique.

Le deuxième élément est d'utiliser la notion de « travail » pour calculer l'action d'une force pour *chaque étape* d'un cycle d'une machine. De même, la chaleur est considérée par son équivalent mécanique. Thompson utilise l'expression « effet mécanique » pour désigner le *bilan sur un cycle entier* d'un corps soumis à un travail.

Toutes les grandeurs participant à un bilan sont caractéristiques d'une transformation : « par conséquent, ces grandeurs sont les formes d'expression d'une même donnée et c'est pour exprimer cette particularité que Thompson doit utiliser un terme commun à toutes et qui se distingue de l'effet mécanique : le terme d'énergie » (Guedj, 2003b, p. 1414).

Ainsi, l'énergie se construit en tant que concept physique qui rend compte de transformations tout en se conservant.

Toutefois, Guedj (2000, p. 1409) souligne que la construction du concept d'énergie chez Thompson s'ancre à une conception métaphysique du monde, partagée par de nombreux savants de l'époque : « nombreux sont les auteurs pour lesquels un principe théologique est présent à l'arrière plan de la physique ». C'est aussi la voie qu'emprunte Kuhn (1959), en détaillant le rôle philosophique qu'a joué le mouvement de la naturphilosophie dans la recherche d'un principe physique de conservation.

5.1.4 Le rôle de la Naturphilosophie et de l'idéalisme allemand

C'est la sensation d'un manque qui dirige Kuhn (1959) vers une troisième source, après la disponibilité des processus de conversion et le rôle des machines. En effet, si Carnot et Joule sont partis d'un problème technique pour, ensuite, aboutir à une formulation du principe de conservation de l'énergie, c'est loin d'être le cas de tous les découvreurs de la liste de Kuhn : « dans les cas de Colding, Helmholtz, Liebig, Mayer, Mohr et Séguin, la notion d'une force métaphysique sous-jacente et impérissable semble antérieure à la recherche et presque sans aucune liaison avec elle » (Kuhn, 1959, p. 145).

Examinons le cas de Mayer, en suivant une nouvelle fois l'article de Kuhn (1959).

aux moteurs, soit en pratique, soit en raison de leur formation. Il leur fallait, pour faire leur calcul, disposer du concept de travail, dont l'origine était à situer avant tout du côté de la tradition de l'art de l'ingénieur » (Kuhn, 1959, p.139).

Lors d'un voyage en Indonésie, Mayer remarqua que le sang de ses malades était plus clair qu'en Europe. C'est par un excès d'oxygène dû à un abaissement de la combustion des aliments qui fournissent la chaleur au corps humain qu'il explique cette différence de couleur. Mayer ignorait que sa découverte était en fait une redécouverte d'une théorie biochimique déjà bien connue : la chaleur du corps résulte de l'oxydation interne des aliments. Cependant, là où Mayer va plus loin, c'est qu'il conclut de ces observations que le travail musculaire provient de la même origine. Autrement dit, il relie travail musculaire, oxydation chimique et perte de chaleur. Mayer passe par conséquent, sans preuve, de la conversion énergie calorifique/énergie chimique à la conversion et à l'équivalence énergie calorifique/énergie chimique/énergie mécanique.

Il manque des étapes dans le raisonnement, non seulement chez Mayer, mais aussi chez Mohr, Liebig et Colding : « l'occurrence persistance des sauts mentaux tels que ceux-ci suggère que beaucoup de ceux qui ont découvert la conservation de l'énergie avaient une profonde prédisposition à voir une unique force indestructible à la source de tous les phénomènes naturels » (Kuhn, 1959, p. 147).

Selon Kuhn, certains historiens expliquent ces lacunes par une sorte de résidu métaphysique des discussions du XVIII^{ème} siècle à propos de la force vive. Depuis Descartes et Leibniz, la conservation du mouvement est utilisée en mécanique mais repose ontologiquement sur une idée métaphysique. On associait alors l'idée de conservation soit à l'immutabilité du divin, soit à un principe métaphysique⁴³.

Le mouvement philosophique de la *Naturphilosophie* permet à Kuhn d'esquisser un arrière plan métaphysique compatible avec l'idée de conservation d'une grandeur.

Heinrich Schmidt, dans son dictionnaire *Philosophisches Wörterbuch*, définit la *Naturphilosophie* comme étant « [l'] ensemble des tentatives philosophiques d'interprétation et d'explication de la nature, que ce soit directement à partir de la vie de la nature, ou bien à l'aide des connaissances fondamentales des sciences de la nature, en vue d'une conception globale et d'une unification de l'ensemble de notre savoir de la nature, d'une élucidation des concepts fondamentaux des sciences de la nature et de la connaissance des relations et de la légalité du devenir total de la nature »⁴⁴.

Ce mouvement philosophique du XIX^{ème} siècle cherche en effet un principe unificateur de la nature mais aussi de l'esprit. Son but est de construire une science dans laquelle seraient associées les sciences, la poésie et la philosophie. Schelling est considéré comme le chef de file de ce mouvement et il cherche à intégrer les données de la science dans une philosophie de la nature et, selon Kuhn (1959), ces données scientifiques primordiales concernent les processus de conversion. Du côté des savants, Kuhn donne l'exemple d'Oersted qui était aussi Naturphilosoph : c'est parce qu'il croyait en un principe unificateur qu'il a cherché et fini par trouver le lien entre électricité et magnétisme.

Ainsi, selon Kuhn (1959, p. 150), « de nombreux naturphilosophen ont tiré de leur philosophie une conception des processus physiques très proche de celle de Faraday et Grove semblent avoir tirée des nouvelles découvertes du XIX^{ème} siècle ».

Le lien avec le principe de conservation de l'énergie est alors fait: Liebig était fasciné par la philosophie de Schelling ; Colding était un protégé de Oersted ; le père de Helmholtz était un Naturphilosoph et connaissait le fils de Fichte.

⁴³ Par exemple *Les lois du mouvement et du repos, déduites d'un principe métaphysique*, écrit par Maupertuis en 1746.

⁴⁴ Citation tirée de la notice « philosophies de la nature » de l'encyclopaedia universalis.

Si ce mouvement philosophique a pu jouer un rôle, c'est avant tout comme arrière-plan métaphysique, dont l'objectif est d'atteindre une compréhension unifiée des faits naturels. Par cet objectif, la naturphilosophie s'inscrit dans la continuité de l'entreprise kantienne⁴⁵.

5.1.5 L'introduction de l'énergie dans l'enseignement de la Physique

L'émergence du concept d'énergie marque la naissance d'une nouvelle physique, la thermodynamique. Si la construction du concept s'inscrit dans le sillage du développement de la mécanique, elle en permet le dépassement en unifiant les sciences de la chaleur et la mécanique, appuyant son développement sur l'essor des techniques industrielles. La deuxième moitié du XIX^{ème} siècle est alors le théâtre d'un affrontement entre mécanistes (par exemple, Helmholtz et Boltzmann) et énergétistes (par exemple, Mach, Ostwald et Duhem). Pour les mécanistes, la thermodynamique est réductible à la mécanique grâce à la théorie cinétique de la chaleur : les grandeurs macroscopiques sont explicables par le mouvement mécanique de corpuscules microscopiques. Pour les énergétistes, le concept d'énergie est suffisant pour décrire les phénomènes et donc toute hypothèse sur la nature microscopique de la matière est superflue et métaphysique. De plus, l'irréversibilité des phénomènes s'oppose à la réversibilité des lois de la mécanique. Plus généralement, ce qui oppose les mécanistes et les énergétistes est une position épistémologique sur l'atomisme. En effet, Ostwald n'hésite pas à écrire : « s'il faut renoncer aux atomes, à la mécanique, quelle image de la réalité restera-t-il ? Mais on n'a besoin d'aucune image, d'aucun symbole⁴⁶ » (cité par Guedj, 2003a, p. 53). Dans ce point de vue, l'énergie est un concept *positif* alors que celui d'atome relève d'une métaphysique.

Cette ligne de partage épistémologique se retrouve dans l'enseignement secondaire français quand l'énergie est introduite dans les programmes à partir de 1902. C'est ce que montre l'article de Guedj (2003b, p. 58) à travers l'analyse de manuels scolaires de l'époque : « les auteurs étudiés semblent s'accorder sur les limites de la dynamique classique et la nécessité d'introduire avec l'énergie, un principe qui rend compte des phénomènes réels, alors que la dynamique classique traite des situations idéales. En revanche, il semble que la présentation faite de l'énergie soit limitée à une énergie macroscopique, proche du concept de travail et qui ne prend pas en compte les données intérieures des systèmes étudiés ». L'hypothèse que Guedj (2003b, p. 58) teste et finit par retenir « est celle selon laquelle l'énergie introduite pour remplacer le concept de force (et par conséquent celui de travail) est abordée exclusivement d'un point de vue macroscopique afin d'exclure une approche microscopique qui questionne notamment la nature de la matière ». Ainsi, dans ce contexte positiviste, c'est le point de vue des énergétistes qui domine : « le contexte positiviste qui règne conduit à introduire un principe de conservation partiel. Ainsi, la notion d'énergie totale n'est pas clairement identifiée, elle se confond fréquemment avec l'énergie mécanique et la notion d'énergie interne, quand elle est introduite, ne se distingue guère de l'énergie calorifique ou de la chaleur » (Guedj, 2003b, p. 61). Loin de se servir du concept d'énergie pour unifier la mécanique et les sciences de la chaleur, l'enseignement initial de l'énergie sépare les champs pour éviter d'utiliser un modèle microscopique de la matière.

⁴⁵ C'est l'avis de Balibar (1999, p. 344) quand elle rapproche le désir d'un concept général de conservation et le concept métaphysique de substance, elle cite ainsi Kant : « la substance persiste dans tout le changement des phénomènes et sa quantité n'augmente ni ne diminue dans la nature ». De même, Pourprix (2007) ancre la démarche de Helmholtz dans une métaphysique largement influencée par les travaux de Kant.

⁴⁶ Ostwald, W. : 1895, p. 42.

5.2 L'énergie dans les programmes de Physique qui correspondent à notre champ d'étude

Nous restreignons ici notre étude à deux classes : la classe de 1^{ère} S (scientifique) et la classe de 1^{ère} STAV (sciences et techniques de l'agronomie et du vivant), qui constituent notre champ d'investigation. Nous analysons alors rapidement les programmes tout d'abord de la classe de 1^{ère} S (5.2.1), puis de la classe de 1^{ère} STAV (5.2.2).

5.2.1 Programme de la classe de 1^{ère} S

Le programme de 2001 (en cours au moment du recueil de données) a pour fil conducteur l'étude des échanges énergétiques. Il inscrit de plus l'étude de l'énergie dans le sillage de l'étude mécanique. En effet, l'étude de la mécanique est structurée autour de différents liens :

- l'étude du mouvement est faite à partir d'une description des forces s'exerçant sur un système ;
- l'étude énergétique est introduite à partir de la notion de travail ;
- on généralise alors le principe de conservation de l'énergie mécanique à d'autres champs de la physique (les échanges de chaleur, le rayonnement).

Cette partie du programme se conclue alors sur une définition de l'énergie : « la conclusion de l'analyse présentée dans le chapitre s'exprimera sous la forme suivante : À tout système dans un état donné, on peut associer une grandeur appelée "énergie". Si l'énergie d'un système augmente ou diminue, c'est qu'il a reçu ou cédé de l'énergie, que ce soit par travail, par transfert thermique ou par rayonnement » (BO n°7 du 30 Août 2000, p. 189).

L'approche préconisée par le programme de 2001 est proche de celle qui a prévalu lors de l'introduction du concept dans l'enseignement de la physique (voir 5.1.5) : le concept d'énergie est introduit par le travail d'une force, le principe de conservation de l'énergie est conçu comme une généralisation de la conservation de l'énergie mécanique pour un système isolé, les branches de la physique (mécanique, thermodynamique, électricité, etc.) sont traitées successivement de manière indépendante.

Notons que le nouveau programme de 2011 prend une perspective complètement différente : ce n'est plus l'énergie en tant que savoir fondamental qui est mis en avant mais plutôt le principe de conservation en tant que principe heuristique de la physique : « au sein de tous ces phénomènes est présente cette grandeur essentielle des sciences physiques et chimiques et seulement perceptible par ses effets, l'énergie. Dans le cadre de l'étude d'un réel en perpétuelle évolution, l'affirmation du principe de conservation de l'énergie s'avère un outil puissant et universel d'explication des phénomènes, d'anticipation et de découvertes. Le professeur exerce sa liberté pédagogique en traitant cette partie du programme, dédiée à la modélisation conceptuelle, dans l'ordre des thèmes de son choix : à partir du principe de conservation de l'énergie ou pour y aboutir » (JO du 28 Août 2010).

5.2.2 Programme de la classe de 1^{ère} STAV

Le programme de 2006 (en cours au moment du recueil de données) fait du principe de conservation de l'énergie l'élément central du programme de physique du Bac STAV. L'énergie est définie à travers son principe et l'enseignement du concept se fait par la construction progressive d'un modèle de « chaîne énergétique ».

Le premier objectif que stipule le programme concerne en effet l'introduction de la notion d'énergie : « plutôt que de tenter une définition de l'énergie à partir du travail, lui-même défini à partir d'un transfert d'énergie, il faut d'entrée envisager ce concept abstrait à partir de la conservation et des transformations, sans omettre la prise en compte du temps nécessaire aux dites transformations. Cette préoccupation qui doit traverser toute l'étude sur l'énergie devra être présente dès la mise en commun des conceptions qu'ont les élèves sur ce sujet et qu'il est nécessaire d'entreprendre » (Référentiel STAV, p. 157). Ce référentiel de formation insiste donc sur la nécessaire prise en compte des conceptions des élèves, puis sur la formulation par les élèves d'explications qualitatives puis quantitatives. Une classification des formes d'énergie doit être dégagée et les transferts d'énergie doivent être décrits selon le modèle de la chaîne énergétique. La notion de puissance est alors abordée.

La suite du référentiel consiste en l'étude séparée des différentes formes d'énergie : thermique, rayonnante, mécanique, électrique.

Le programme de 2013 reprend l'architecture de celui de 2006 et n'introduit par conséquent pas de changement de perspectives.

5.3 Les recherches en didactique de la physique sur le concept d'énergie

Il s'agit dans cette partie de faire le point sur les recherches en didactique de la physique sur l'enseignement de l'énergie. Nous détaillons tout d'abord les recherches sur les conceptions des élèves et des enseignants (5.3.1), puis celles qui ont analysé des curricula d'enseignement afin de mettre en place des ingénieries prenant en compte les conceptions dans leur élaboration (5.3.2). Enfin, nous mentionnons une analyse de pratiques d'enseignants sur l'enseignement de l'énergie (5.3.3).

5.3.1 Les recherches sur les conceptions

Depuis les années 80, des études ont été menées pour explorer les conceptions des élèves, puis des enseignants sur l'énergie. Il apparaît que les termes associés au concept d'énergie sont courants dans le langage commun (5.3.1.1), ce qui induit des conceptions chez les élèves (5.3.1.2). Ces conceptions résistent à un enseignement « traditionnel » (5.3.1.3). On observe chez les enseignants des conceptions similaires à celles des élèves (5.3.1.4).

5.3.1.1 Le rôle du langage

Une des sources premières des conceptions qu'ont les élèves sur l'énergie avant d'entrer en classe tient à l'usage quotidien des termes « énergie », « chaleur », « température », travail » qui sont autant de concepts en physique (Bruneaux, 1984 ; Goldring, 1994). C'est ainsi que Goldring (1994, p. 26) écrit : « many difficulties in this field also arise out of language problems, from the conflict between everyday and scientific language, e.g. in some texts the word 'energy' is used synonymously with that for fuels such as coal and natural gas ».

De même, le langage spécifique des disciplines utilise le mot « énergie » de différentes façons. Bruguère, Sivade & Cros (2002) ont étudié ainsi les différentes terminologies du terme « énergie » en géographie, physique et biologie. En géographie, l'énergie se produit et se consomme ; en physique, elle se conserve et se dégrade ; en biologie, elle se transforme.

Au sein même de la discipline scolaire « physique-chimie », le choix des termes peut créer des confusions. C'est par exemple le cas de l'« énergie thermique », qui recouvre à la fois un transfert (la chaleur) et un stockage sous forme d'énergie interne. Un même mot véhicule dans ce cas deux concepts différents (Bruguère, Sivade & Cros, 2002, p. 74).

Cette superposition terminologique entre le langage quotidien et les différents langages scolaires entre « nécessairement en interaction avec l'enseignement dispensé » selon Ballini, Robardet & Rolando (1997, p. 83).

5.3.1.2 Les conceptions « pré-énergétiques » des élèves

Les conceptions qu'ont les élèves sur l'énergie avant un enseignement sur ce thème sont appelés « conceptions pré-énergétiques » (Koliopoulos & Ravanis, 1998 ; 2000).

Ces conceptions « pré-énergétiques » « sont fondées sur l'activation du raisonnement linéaire causal « source – action – récepteur » que les élèves utilisent très souvent quand ils essaient de décrire et/ou d'expliquer le fonctionnement de certains systèmes physiques (Tiberghien⁴⁷, 1988 ; Psillos⁴⁸, 1995) » (Koliopoulos & Ravanis, 2000, p. 38).

Ces raisonnements de type causal linéaire sont également développés par Ballini, Robardet & Rolando (1997) et par Robardet & Guillaud (1997) : ils consistent en la recherche d'une relation $A \Rightarrow B$, telle que la rétroaction soit impossible et qu'il y ait propagation d'un « médiateur » entre A et B. Si une casserole chauffe, c'est qu'elle a reçu un « médiateur » (la chaleur) issu d'une source (plaque électrique). L'objet d'étude n'est alors pas « le système physique, caractérisé par son état et ses interactions, mais une entité (énergie, chaleur, électricité, signal...) qui subit en général un déplacement, et qui rencontre des oppositions au cours de celui-ci » (Ballini, Robardet & Rolando, 1997).

De multiples conceptions de l'énergie ont été identifiées depuis les années 80 (Tiberghien & Koliopoulos, 1986 ; Trumper, 1998). Nous retenons la classification opérée par Bruguère, Sivade & Cros (2002) dans leur revue de littérature.

Quatre types d'association sont relevés :

- L'énergie est associée à « force » : en dynamique, le mouvement est perçu comme médiatisé par un complexe indifférencié force/énergie/élan/impulsion. L'énergie est à la fois ce qui est la cause et le résultat du mouvement.

⁴⁷ Tiberghien, A. (1988). Learning and teaching at middle school level of concepts and phenomena in physics : the case of temperature. In Mandl, H., De Corte, E., Benett, N. & Friedrich, H.F. (Éds.), *Learning and instruction : European research in an international context*. Oxford : Pergamon Press, 631-648.

⁴⁸ Psillos, D. (1995). Adapting science teaching to students' reasoning. In Psillos (Éd.). *Proceedings of the 2nd PhD Summerschool "European Research in Science Education"*. Thessaloniki : Art of Text, 55-71.

- L'énergie est associée à « produit », « utilisation », « consommation » : elle tend à disparaître, car elle suit un circuit de consommation. Cette conception est contraire à l'idée physique de conservation.
- L'énergie est associée à « activité » : il y a souvent association entre énergie et mouvement. On n'attribue pas une énergie à ce qui est statique. De même, l'énergie est attribuée préférentiellement à ce qui est vivant, et en particulier à ce qui est humain.
- L'énergie est associée à « source » : l'énergie est alors conçue comme un ingrédient qui est stocké dans certains objets. Quelquefois, l'énergie n'est pas distinguée de l'objet.

Les conceptions les plus fréquentes sont celles qui associent énergie et force, ainsi que énergie et activité (Trumper, 1998).

5.3.1.3 Les conceptions des élèves après un enseignement sur l'énergie

Les conceptions « pré-énergétiques » persistent après un enseignement sur l'énergie (Goldring & Osborne, 1994 ; Ballini, Robardet & Rolando, 1997 ; Trumper, 1998).

L'étude de Ballini, Robardet & Rolando (1997) sur des élèves de première S montre qu'ils ont de grosses difficultés à acquérir le concept de travail (ils considèrent que la chaleur est l'unique cause d'un changement de température). Le raisonnement causal linéaire est prégnant dans leur explication des phénomènes.

Le principe de conservation de l'énergie, s'il est connu des élèves, est peu opérationnel et, dans certaines situations, les élèves raisonnent en le contredisant (Ballini, Robardet & Rolando, 1997 ; Goldring & Osborne, 1994).

Il apparaît, qu'après un enseignement sur l'énergie, la majorité des élèves ne se sont pas appropriés les principaux concepts : « many pupils who were able to solve numerical problems showed a lack of understanding of fundamental concepts, and were not able to solve qualitative problems or reveal declarative knowledge » (Goldring & Osborne, 1994, p. 29).

5.3.1.4 Les conceptions des enseignants

Les recherches sur les conceptions des enseignants sur l'énergie sont montées en puissance à la fin des années 80 (Trumper, 1998).

Il apparaît de ces recherches que la majorité des enseignants n'ont pas de conceptions scientifiquement correctes du concept d'énergie. Ainsi selon l'étude de Kruger, Palacio & Summers (1992), plus de 70% des enseignants confondent force et énergie, beaucoup d'entre eux n'ont pas compris la notion d'énergie potentielle gravitationnelle et associent énergie et mouvement. De plus, un nombre substantiel de réponses contredit le principe de conservation de l'énergie. Robardet & Guillaud (1997, p. 195) font un constat identique : « nous avons pu constater, en effet, chez des enseignants en situation de formation continue, confrontés à une situation énigmatique, que ces derniers ne recourent pas, pour la résoudre, au principe de conservation de l'énergie. Bien plus, certains n'hésitent pas à formuler des réponses en contradiction flagrante avec ce principe ».

5.3.2 Les recherches sur l'énergie dans les curricula

La persistance des conceptions, notamment du raisonnement linéaire-causal, ainsi que l'absence d'utilisation du principe de conservation de l'énergie pour décrire des phénomènes physiques posent question. Des recherches se sont alors développées pour analyser et catégoriser les curricula d'enseignement, en distinguant la place accordée aux conceptions des élèves dans la progression de l'institutionnalisation des savoirs. Koliopoulos & Ravanis (1998) distinguent ainsi le curriculum « traditionnel » (5.3.2.1), l'« innovatif » (5.3.2.2) et le « constructiviste » (5.3.2.3).

5.3.2.1 Le curriculum « traditionnel »

Les objectifs didactiques de ce curriculum « sont en rapport principalement pour ne pas dire exclusivement avec le contenu de la science » (Koliopoulos & Ravanis, 1998, p. 173). La seule référence est le savoir savant, ici la Physique.

Dans ce curriculum, l'étude du concept d'énergie est à chaque fois introduite par branches séparées (mécanique, thermodynamique, etc.) et indépendantes : « en s'appuyant sur cette analyse, la conclusion à laquelle on pourrait aboutir est que la juxtaposition de nombreux cadres conceptuels qui touchent au concept d'énergie et/ou le mélange de tels cadres dans de petites unités thématiques, réduit le fonctionnement du concept puisque à chaque fois l'élève est "chargé" d'un sens différent du même concept, et c'est ainsi qu'augmente le risque de tomber dans des malentendus conceptuels » (Koliopoulos & Ravanis, 1998, p. 168).

Cette approche fait dériver l'énergie de la définition du travail, c'est-à-dire du cadre de la mécanique. La notion d'énergie interne est alors une notion « périphérique ».

De plus, elle se limite à une approche quantitative : « l'introduction du concept d'énergie en tant que fonction de mesures physiques observables limite l'approche énergétique au niveau quantitatif, alors que nous savons qu'une sorte de rapprochement entre les conceptions qualitatives pré-énergétiques des élèves et la nature quantitative de l'énergie est nécessaire » (Koliopoulos & Ravanis, 1998, p. 168).

Dans le programme de 1ère S (2001), l'enseignement de l'énergie est majoritairement inscrit dans ce cadre : thermodynamique et mécanique sont séparés, l'énergie est introduite par le travail, c'est-à-dire par la mécanique, l'énergie interne est un concept secondaire.

5.3.2.2 Le curriculum « innovatif »

Ce curriculum est en lien avec une analyse épistémologique du concept d'énergie. L'approche ne se fait plus au sein de la mécanique mais plutôt avec un point de vue thermodynamique. L'importance du concept d'énergie n'est plus seulement conçue en référence avec la position centrale du concept en physique, mais aussi en référence aux problèmes économiques et sociaux que pose l'énergie. Ce type de curriculum tente d'éviter la dispersion du concept en unités thématiques en considérant l'énergie comme le principe organisateur du curriculum entier. Le principe de conservation de l'énergie devient ainsi un élément central du curriculum.

5.3.2.3 Le curriculum « constructiviste »

De nombreux projets d'enseignement d'inspiration constructiviste ont ainsi été développés pour construire « une sorte de rapprochement entre les conceptions pré-énergétiques des élèves et la nature quantitative de l'énergie » (Koliopoulos & Ravanis, 1998, p. 168). Dans ces projets (Ballini, Robardet & Rolando, 1997 ; Koliopoulos & Ravanis, 2000), le principe de conservation de l'énergie est central, posé comme principe et le développement du concept se fait à travers la construction progressive d'un modèle de « chaîne énergétique ». Il s'appuie sur l'interaction avec les premières conceptions d'élèves, s'attache à la formulation par les élèves d'explications qualitatives puis quantitatives.

Ce type de curriculum n'est toutefois pas exempt de débat. S'il permet une meilleure compréhension qualitative des phénomènes et une meilleure appropriation du principe de conservation par les élèves, certains didacticiens, selon Robardet et Guillaud (1997, p. 197), reprochent au modèle de la « chaîne énergétique » de conforter un point de vue substantialiste : l'énergie est une substance qui s'échange. Pour éviter cet écueil, Robardet et Guillaud (1997) proposent d'insister sur l'aspect « modélisation » de la « chaîne énergétique », en faisant marcher ce modèle sur des situations variées.

Le programme de 1^{ère} STAV (2006) peut être qualifié de « constructiviste » car le principe de conservation de l'énergie est premier, il est « opérationnalisé » à travers le modèle de la chaîne énergétique et son enseignement doit s'appuyer sur les conceptions des élèves.

5.3.3 Une analyse de pratiques effectives d'enseignants sur l'enseignement de l'énergie

Les pratiques effectives des enseignants de physique sur l'énergie ne sont pas nombreuses. Nous mentionnons ici le travail de Seck (2007), qui a analysé et comparé les pratiques de deux classes de 1^{ère} S, sur plusieurs séances. Il décrit deux pratiques de classe très différentes, bien que portant sur le même concept, et il montre que l'étude du concept de travail est central dans les deux pratiques. Son étude comparative se fait de plus grâce à l'utilisation d'un logiciel d'aide à l'analyse (Transana), dont il propose une méthodologie.

Résumé du chapitre 5

Le concept d'énergie s'est imposé comme le concept central de la Physique car il a permis d'unifier dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle des phénomènes physiques très différents dans un même cadre théorique. La nécessité d'optimiser les machines à l'aube de la révolution industrielle a favorisé la mathématisation du concept à travers le développement du concept connexe de travail, afin de quantifier les conversions d'énergie dans les machines à vapeur. L'émergence du principe de conservation de l'énergie est également inscrite dans un arrière-plan métaphysique, qui favorise l'idée d'une permanence dans le changement apparent des phénomènes. La construction du concept s'est également faite à travers la stabilisation du langage scientifique car les mots « énergie », « travail » et « force » ont par exemple été progressivement distingués et définis.

Dans un contexte positiviste, le refus d'une théorie atomiste a conduit à privilégier au début du XX^{ème} siècle une approche macroscopique de l'enseignement de l'énergie. Cette approche réduit la portée unificatrice du concept puisqu'elle ne permet pas de lier mécanique et thermodynamique, en niant la théorie cinétique de la chaleur.

Nous retrouvons des traces de cette approche dans le programme de physique de 1^{ère} S (2001), que l'on peut qualifier de « traditionnelle » et de ce point de vue le nouveau programme de 1^{ère} S (2011) est plutôt en rupture. De même, le référentiel de formation du bac STAV de l'enseignement agricole propose un schéma curriculaire différent, d'inspiration « constructiviste », en faisant du principe de conservation de l'énergie et du modèle de la chaîne énergétique les éléments-pivots de la progression prescrite.

Le concept d'énergie est par conséquent liée à la « science faite », car sa construction remonte au XIX^{ème} siècle et le principe de conservation de l'énergie est aujourd'hui considéré comme un pilier de la physique contemporaine. En ce sens, le concept est stabilisé.

Il est enseigné depuis plus d'un siècle, et est présent dans de nombreux référentiels (en tant qu'élément structurant pour les programmes de 1^{ère} S et STAV), aussi nous qualifions ce savoir scolaire de « traditionnel », dans le sens où il structure depuis de nombreuses années les programmes d'enseignement de la physique et le champ savant.

Les recherches en didactique ont étudié les conceptions des élèves et des enseignants sur l'énergie et ont montré que le langage jouait un grand rôle dans la compréhension que les individus se font des concepts liés à celui d'énergie car les principaux concepts sont d'usage courant dans le langage quotidien. Nous avons de plus remarqué que peu d'études traitent des pratiques effectives des enseignants sur l'enseignement de l'énergie.

6. Le changement climatique comme exemple de « science en action » : analyse historique, épistémologique et didactique du changement climatique

Après avoir pris l'énergie comme savoir scolaire « traditionnel » de la physique, il nous faut choisir un savoir particulier liée à la « science en action », afin d'examiner des conditions d'articulation de la « science en action » et de la « science faite » en classe.

Nous abordons ici les contenus à enseigner liés au changement climatique, car il nous semble que ce domaine scientifique relève de la « science en action ». Nous justifions ce propos, en développant différentes dimensions du changement climatique. Tout d'abord, nous prenons un point de vue historique (6.1), en prenant comme point de départ les textes fondateurs des sciences du climat, qui examinent le fonctionnement du climat en tant qu'objet scientifique « positif », puis en nous appuyant sur les travaux récents d'histoire des sciences qui approchent cet objet d'une manière plus sociale. Nous examinons ensuite les programmes de formation de physique et observons qu'il existe peu de contenus à enseigner liés au changement climatique (6.2). Nous exposons également quelques résultats de recherche en didactique sur le climat et le changement climatique (6.3).

Nous concluons alors sur le lien entre le changement climatique et la « science en action » et justifions l'intérêt qu'il y a à étudier le changement climatique en classe de physique comme une controverse socioscientifique (6.4).

6.1 Histoire du changement climatique en tant qu'objet scientifique

Nous prenons comme point de départ de notre analyse historique les travaux de quelques scientifiques du XIX^{ème} siècle. En effet, bien que les hommes mènent des observations météorologiques depuis des siècles, ce n'est qu'à partir du XIX^{ème} siècle que le climat devient un objet scientifique⁴⁹, dont il s'agit de construire *la positivité* en développant simultanément les techniques expérimentales et les réflexions conceptuelles (6.1.1). Les techniques spatiales et les progrès de l'informatique permettent dans la deuxième moitié du XX^{ème} siècle un développement des sciences du climat. Ces sciences se sont de plus structurées sous l'impulsion d'une volonté politique, si bien qu'on peut dire que « le domaine du changement climatique, aujourd'hui associé au « développement durable », s'est construit d'emblée comme un domaine scientifico-politique » (Armatte & Dahan Dalmedico, 2004, p. 272) (6.1.2). Cette structuration s'est effectuée à travers la création du GIEC, le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (6.1.3). Nous analysons alors l'orientation que prend actuellement la gouvernance mondiale sur le climat (6.1.4).

⁴⁹ Auguste Comte exclut la météorologie de sa classification des sciences positives.

6.1.1 Les précurseurs : l'hypothèse d'un lien entre l'évolution du climat et la composition de l'atmosphère

Nous développons ici les textes de précurseurs sur l'étude du climat. Notre approche est donc portée sur les concepts et méthodes, et laisse de côté les dimensions sociales de l'émergence de la problématique de l'évolution du climat⁵⁰. Cette approche présente toutefois de l'intérêt car la façon de construire une rationalité à l'évolution du climat va se retrouver dans les sciences contemporaines d'étude du climat.

Quand Fourier écrit en 1824 son article *Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires*, il expose certainement l'une des premières réflexions sur le climat, son approche scientifique et le rôle de l'homme dans son mécanisme.

Ainsi, il pense que la température moyenne de la planète est supérieure à celle qu'elle pourrait avoir sans l'atmosphère : « tous les effets terrestres de la chaleur du soleil sont modifiés par l'interposition de l'atmosphère et par la présence des eaux. Les grands mouvements de ces fluides rendent la distribution plus uniforme. La transparence des eaux et celle de l'air paraissent concourir à augmenter le degré de chaleur acquise, parce que la chaleur lumineuse affluente pénètre assez facilement dans l'intérieur de la masse, et que la chaleur obscure⁵¹ sort plus difficilement suivant une route contraire » (Fourier, 1824, p. 49).

Il attribue de plus aux activités humaines un impact sur le climat : « les mouvements de l'air et des eaux, l'étendue des mers, l'élévation et la forme du sol, les effets de l'industrie humaine et tous les changements accidentels de la surface terrestre modifient les températures dans chaque climat » (Fourier, 1824, p. 40).

Les explications avancées par Fourier se réfèrent avant tout à l'utilisation de sa théorie de la chaleur appliquée au climat, il jette de plus les fondations du mécanisme de l'effet de serre en faisant une analogie entre les travaux expérimentaux de De Saussure et l'atmosphère.

Les travaux de Pouillet (1838) ont permis le développement de nouveaux appareils de mesure, ce qui conduit à déterminer expérimentalement la valeur du flux solaire incident et de son absorption par l'atmosphère. Tyndall (1861) détaille ses résultats concernant l'absorption de différents gaz. Il conclue alors sur le lien entre la variation de la teneur en différents gaz (vapeur d'eau, dioxyde de carbone et hydrocarbures gazeux) et le changement climatique : « si la majeure partie de cette influence est due à la vapeur d'eau, comme l'indiquent les expériences décrites ci-dessus, chaque variation de cet élément atmosphérique doit causer un changement du climat. Des considérations similaires seraient applicables à l'acide carbonique présent dans l'air, et un ajout presque indétectable de n'importe laquelle des vapeurs d'hydrocarbure aurait de grands effets sur le rayonnement de la terre et amènerait donc une modification correspondante du climat » (Tyndall, 1861, p. 148). Il note de plus une dissymétrie dans l'absorption entre « chaleur solaire » et « chaleur obscure » : « or cette vapeur d'eau, si destructrice pour les rayons obscurs, est en comparaison assez transparente pour les rayons de lumière. La différence entre la chaleur en provenance du soleil vers la terre d'une part et la chaleur rayonnée par la Terre vers l'espace de l'autre est donc grandement augmentée par la vapeur d'eau atmosphérique » (Tyndall, 1861, p. 147).

Cette théorie est en fait controversée, notamment par les travaux de James Croll⁵², qui explique les changements du climat à l'échelle géologique par une théorie astronomique :

⁵⁰ A notre connaissance, une lecture plus sociale de ces premiers travaux n'a pas encore été faite en histoire et sociologie des sciences.

⁵¹ La « chaleur obscure » rayonne dans le domaine infrarouge des longueurs d'onde.

⁵² Croll, J. (1864). Sur la cause physique des changements du climat au cours des époques géologiques. *Sur les origines de l'effet de serre et du changement climatique* (2010) (pp. 113-159). Paris : La ville brûle.

c'est la précession des équinoxes et les variations de l'excentricité de l'orbite terrestre qui permettent de décrire les changements climatiques passés.

Arrhenius défend alors la théorie de Tyndall dans son article *Sur l'influence de l'acide carbonique dans l'air sur la température de la Terre* (1896) en montrant qu'un doublement du taux d'acide carbonique (ancienne appellation du dioxyde de carbone, CO₂) dans l'atmosphère conduit à une élévation de la température moyenne du globe de 5°C. Sa démonstration est conduite de façon à s'accorder avec les données géologiques et réfute ainsi la théorie de Croll. Ces premiers travaux qui s'inscrivent dans la dynamique de recherche sur les propriétés du rayonnement et des gaz à la fin du XIX^{ème} siècle jettent les fondations de ce que sera la science du climat au XX^{ème} siècle : « dans sa version moderne, la *théorie climatique du CO₂* est toujours inscrite dans la physique des rayonnements et dans la compréhension de l'équilibre thermodynamique de la planète » (Urgelli, 2009, p. 22).

6.1.2 La structuration d'un domaine de recherches : les sciences du climat

A partir des années 50, les recherches sur le climat vont se structurer à travers la création d'organismes tels que l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM ou World Meteorological Organization, WMO), une agence des Nations-Unies, qui lance des programmes mondiaux de recherche. C'est l'atmosphère qui est tout d'abord l'objet d'investigation. Les mesures du taux de CO₂ atmosphérique font alors l'objet d'une attention particulière. Dans ce cadre, Charles Keeling mesure chaque semaine la concentration de CO₂ à la station de météorologie de la station de Mauna Loa (Hawaï) et il publie la courbe de cette variation qui indique une augmentation nette de cette concentration. « Cette courbe sera considérée comme une des plus importantes données environnementales du XX^{ème} siècle » (Urgelli, 2009, p. 23) et est toujours citée dans les études contemporaines (après 50 ans de mesures). Les données satellitaires permettent de plus à partir des années 60 d'étudier des zones géographiques jusque-là inaccessibles. De même, les premiers modèles informatiques de prévision commencent à être construits par différents laboratoires et absorbent les données satellitaires. L'OMM favorise de plus la coopération d'équipes de différents pays dans le partage de données mesurées.

Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), créé en 1972, collabore avec l'OMM, qui a conduit en 1976 la première évaluation sur l'appauvrissement de la couche d'ozone, pour faire aboutir la convention de Vienne sur la protection de la couche d'ozone (1985) et le Protocole de Montréal relatif aux substances qui appauvrissent la couche d'ozone (1987).

Parallèlement aux travaux menés par deux de ses structures, l'ONU confie en 1983 à une commission spéciale, la Commission mondiale pour l'environnement et le développement, un « programme global de changement ». Le rapport qu'elle rédige, appelé rapport Brundtland (1987), définit la notion de « développement durable » : « le développement durable est un mode de développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». Ce rapport préconise une stratégie mondiale pour accompagner ce changement sous la supervision d'un organisme indépendant des états et qui exigerait la coopération des différentes organisations internationales.

Le G7 de Toronto en 1987 reprend officiellement le terme de « développement durable » et les deux organisations de l'ONU, l'OMM et le PNUE, créent alors le GIEC (Groupe d'experts

Intergouvernemental sur l'évolution du Climat ou IPCC en anglais, International Panel on Climate change) en 1988 à Genève.

La mission du GIEC est alors de compiler les résultats de différents laboratoires mondiaux pour produire des rapports chargés d'aider à la prise de décision politique. Toutefois, son rôle de s'arrête pas là car il va considérablement reconfigurer la recherche et mettre en avant des questions jusque là peu étudiées (comme le rôle des sols et des forêts, les prévisions à l'échelle des territoires, la vulnérabilité à la montée des eaux, le rôle du cycle du carbone, etc.) (Dahan & Guillemot, 2006).

6.1.3 Un nouveau visage pour les sciences du climat : Le GIEC

Nous présentons dans cette partie le GIEC, dans ses objectifs (6.1.3.1), son fonctionnement (6.1.3.2), les rapports qu'il produit (6.1.3.3) et détaillons plus précisément le dernier rapport de 2007 (6.1.3.4).

6.1.3.1 Objectifs du GIEC

Le GIEC définit ses missions et objectifs sur son site Internet⁵³ : « le GIEC a pour mission d'évaluer, sans parti pris et de façon méthodique, claire et objective, les informations d'ordre scientifique, technique et socio-économique qui nous sont nécessaires pour mieux comprendre les fondements scientifiques des risques liés au changement climatique d'origine humaine, cerner plus précisément les conséquences possibles de ce changement et envisager d'éventuelles stratégies d'adaptation et d'atténuation ».

Il remet des rapports d'expertise régulièrement (en 1990, 1995, 2001, 2007 et le prochain en 2014) pour éclairer la prise de décision politique à l'échelle mondiale.

6.1.3.2 Fonctionnement du GIEC

Trois groupes de travail (working groups, WG) structurent le GIEC :

- WG 1 « évalue les aspects scientifiques du système climatique et de l'évolution du climat »⁵⁴.
- WG 2 « s'occupe des questions concernant la vulnérabilité des systèmes socioéconomiques et naturels aux changements climatiques, les conséquences négatives et positives de ces changements et les possibilités de s'y adapter »⁵⁵.
- WG 3 « évalue les solutions envisageables pour limiter les émissions de gaz à effet de serre ou atténuer de toute autre manière les changements climatiques. »⁵⁶

Les membres de ces groupes sont ensuite négociés avec les états. Ce sont des scientifiques de renommée internationale qui sont choisis : « [le choix des personnalités] reflétait tant les positions de pouvoir que la compétence technique » (Dahan, 2007). En 2005, 192 représentants d'États y ont participé.

⁵³ http://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.shtml#1, consulté le 3 Mars 2011.

⁵⁴ <http://www.un.org/french/climatechange/ipcc.shtml>, consulté en 22 Février 2012.

⁵⁵ Ibid.

⁵⁶ Ibid.

6.1.3.3 Les rapports du GIEC

Le processus d'écriture des rapports est long et complexe. En effet, les rapports sont préparés « par des équipes de rédacteurs, durement sélectionnés sur la base de leur compétence scientifique (réputation, publications). Le processus de « referee » est très long et très lourd : les rédactions des chapitres devront passer par deux stades d'examen et de réécriture, d'abord par des pairs scientifiques, ensuite par les pairs et les gouvernements. Les rapports finaux devront être adoptés en session plénière et seront accompagnés de résumés techniques et de « résumés pour décideurs » ; ceux-ci devront être approuvés ligne par ligne » (Dahan, 2007).

Le groupe WG 1 a un poids considérable dans l'écriture du rapport de 1990. Les experts s'appuient en effet sur les recherches faites depuis les années 50 par l'OMM et les résultats obtenus ont un écho médiatique. Les modèles numériques « de circulation générale », que les climatologues utilisent, prédisent, selon les hypothèses des économistes concernant le développement socio-économique du XXI^{ème} siècle (« Business as usual » par exemple qui lie croissance économique et émission de GES⁵⁷), que la température moyenne va augmenter de 3°C en un siècle.

Le deuxième rapport (1995) se félicite des progrès obtenus dans la compréhension des phénomènes climatiques. Il conclue de plus sur les incertitudes scientifiques et la nature anthropique du réchauffement : « notre capacité à mesurer l'influence de l'homme sur le climat global reste limitée car le signal attendu est encore difficile à distinguer du bruit de fond lié à la variabilité naturelle, et à cause d'incertitudes sur divers facteurs importants. Ces incertitudes ont trait à l'ampleur et aux caractéristiques de la variabilité naturelle à long terme, de l'évolution temporelle du forçage lié aux gaz à effet de serre, aux aérosols et aux changements à la surface des continents, et de la réponse à ce forçage. Malgré ces incertitudes, *le faisceau d'éléments disponibles suggère qu'il y a une influence perceptible de l'homme sur le climat global* » (GIEC, 1995, p. 22).

Le troisième rapport du GIEC (2001, p.11) stipule également que « de nouvelles preuves, mieux étayées que par le passé, viennent confirmer que la majeure partie du réchauffement observé ces cinquante dernières années est imputable aux activités humaines ». Il détaille de plus les scénarios d'évolution du climat. Ces scénarios sont fondés sur des hypothèses socio-économiques qui lient plus précisément l'évolution des « agents de forçage » (émis par les activités humaines) avec différentes images de ce que pourrait être le développement mondial en termes de démographie, choix économiques, sociaux et technologiques. Un seul paramètre est ensuite utilisé pour décrire ces scénarios : la tonne équivalent CO₂ et c'est ce paramètre qui est ensuite traduit en température moyenne.

Les scénarios issus du rapport de 2001 du GIEC ont été intégrés dans les simulateurs des laboratoires et ont joué un grand rôle dans les résultats écrits dans le 4^{ème} rapport (2007).

6.1.3.4 Le rapport de 2007

Le rapport de 2007 note des progrès importants dans les zones d'incertitude du rapport précédent. Aussi, les probabilités de la majorité des résultats obtenus précédemment ont augmenté.

Dès le début du rapport, il est donc écrit que « le réchauffement du système climatique est sans équivoque. On note déjà, à l'échelle du globe, une hausse des températures moyennes de l'atmosphère et de l'océan, une fonte massive de la neige et de la glace et une élévation du niveau moyen de la mer » (GIEC, 2007, p. 2).

⁵⁷ Dans la suite du texte, nous utilisons l'abréviation GES pour gaz à effet de serre.

Les méthodes de correction de données se sont améliorées, les modèles numériques se sont affinés. Les « modèles de circulation générales », qui sont des représentations mathématiques du système climatique, encodés sur de puissants ordinateurs, travaillent sur une planète virtuelle découpée en mailles de quelques dizaines de km de côté à quelques centaines de mètres de hauteur. Les chercheurs injectent ensuite dans ces mailles toutes les informations disponibles (relief, vitesse de rotation de la Terre, ensoleillement, composition de l'atmosphère, distribution des glaces et de la végétation, etc.). Les efforts ont alors porté sur l'intégration dans les modèles climatiques de plus de données et de modèles : « la formulation des MCGAO⁵⁸ s'est développée à travers l'amélioration de la résolution spatiale et à travers des améliorations dans les concepts chiffrés et dans le paramétrage (p.ex., les glaces de mer, la couche limite atmosphérique, le mélange des eaux océaniques). Davantage de processus font désormais partie de nombreux modèles, y compris un certain nombre de processus-clés qui sont importants pour le forçage (p.ex., les aérosols sont dorénavant modélisés de façon interactive dans de nombreux modèles) » (GIEC 2007, GW 1, p. 60)⁵⁹. Les conclusions des climatologues sont fondées sur l'évolution des modèles suivant différentes perturbations appliquées (rayonnement du soleil, taux de CO₂ émis notamment). La fiabilité des modèles est alors éprouvée par la reproduction d'événements climatiques du passé.

De même, pour remonter aux températures géologiques, les outils des paléoclimatologues ont progressé (analyse de grains de pollen, des cernes des arbres et du rapport isotopique entre éléments chimiques).

Il est également noté dans le rapport un renforcement de la probabilité d'une perturbation du vivant par le réchauffement du climat. Il attribue « très probablement » ce réchauffement aux activités humaines et notamment aux rejets de GES : « l'essentiel de l'élévation de la température moyenne du globe observée depuis le milieu du XX^{ème} siècle est *très probablement* attribuable à la hausse des concentrations de GES anthropiques. Cette constatation marque un progrès par rapport à la conclusion du troisième rapport d'évaluation, selon laquelle « l'essentiel du réchauffement observé au cours des 50 dernières années est *probablement* dû à l'accroissement de la concentration de GES » » (GIEC, 2007, p. 39)

Selon ce rapport, le changement va de plus continuer : « la poursuite des émissions de GES au rythme actuel ou à un rythme plus élevé devrait accentuer le réchauffement et modifier profondément le système climatique au XXI^{ème} siècle. Il est très *probable* que ces changements seront plus importants que ceux observés pendant le XX^{ème} siècle. » (GIEC, 2007, p. 45). Les différents scénarios prévoient une augmentation pour 2100 comprise entre + 1.1°C et + 6.4°C.

Le GW 2 écrit dans son rapport que les incidences possibles du changement climatique ont fait l'objet de davantage de recherches ces dernières années, et là aussi la « côte de confiance » augmente : « on dispose aujourd'hui d'informations plus précises sur la nature des incidences futures pour de nombreux systèmes et secteurs, y compris dans des domaines qui n'ont pas été traités dans les évaluations précédentes » (GIEC, 2007, p. 48).

⁵⁸ MCGAO : modèles de circulation générale atmosphère – océan.

⁵⁹ Référence bibliographique: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R.B. Alley, T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J.M. Gregory, G.C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B.J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Whetton, R.A. Wood & D. Wratt (2007).

6.1.4 Vers une gouvernance mondiale pour le climat

Simultanément au développement du GIEC, une gouvernance mondiale se met en place à travers la tenue chaque année d'une conférence des parties et s'appuie sur les rapports d'expertise du GIEC. Nous rendons compte ici brièvement des orientations prises dans les négociations internationales sur le climat depuis 1992 (6.1.4.1), puis développons les perspectives les plus récentes, issues du sommet de Copenhague en 2009 (6.1.4.2).

6.1.4.1 La Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

Avec le GIEC, les recherches sur le changement climatique deviennent inséparables des discussions politiques (Dahan, 2007). Ainsi, Les Nations-unies adoptent en 1992 une Convention Cadre sur les Changements Climatiques (CCNUCC) : chaque année, les états se rencontrent pour négocier des actions politiques coordonnées visant à limiter les effets du changement climatique. Les rapports du GIEC ont alors une grande importance lors de ces conférences. Le premier sommet, celui de Rio en 1992 consacre la volonté politique de s'attaquer de façon internationale au changement climatique.

Le sommet le plus connu est celui de Kyoto (1997), qui a débouché sur le protocole de Kyoto, dans lequel 55 pays (55% des émissions mondiales de GES) se sont engagés à réduire de 5.2% leurs émissions (par rapport aux émissions de 1990) sur la période 2008-2012.

Les conférences suivantes ont permis d'engager des discussions sur des objectifs internationaux pour l'après 2012. La conférence de Bali (2007) a ainsi acté le principe de négociations pour l'après 2012 (Bali roadmap).

La conférence de Copenhague (2009) devait alors entériner la « feuille de route » de Bali mais le rapport de force a changé entre les pays développés⁶⁰ (annexe I de CCNUCC) et les pays émergents (Chine, Inde, etc.), si bien que l'on peut parler d'un pré-Copenhague et d'un post-Copenhague (Delbosq & de Perthuis, 2011). Nous développons par la suite la nature du changement qui s'opère à l'heure actuelle dans les négociations internationales.

6.1.4.2 La conférence des parties de Copenhague : un changement de paradigme dans la gouvernance mondiale du climat

L'approche dite « top-down », qui se fonde sur le leadership européen, sur les rapports du GIEC et la feuille de route de Bali, est remise en question à partir de la conférence de Copenhague en 2009 : « dès lors dans un jeu de relations complexes avec les Etats Unis, [les pays émergents] vont modifier les principes de la lutte contre le changement climatique : elle doit s'enclencher à partir des nations, à travers des mesures dites appropriées, harmonisées au

⁶⁰ La liste des pays dits « développés » est donnée dans l'annexe I de la CCNUCC : Allemagne ; Australie ; Autriche ; Bélarus ; Belgique ; Bulgarie ; Canada ; Communauté économique européenne ; Croatie ; Danemark ; Espagne ; Estonie ; États-Unis d'Amérique ; Fédération de Russie ; Finlande ; France ; Grèce ; Hongrie ; Irlande ; Islande ; Italie ; Japon ; Lettonie ; Liechtenstein ; Lituanie ; Luxembourg ; Monaco ; Norvège ; Nouvelle-Zélande ; Pays-Bas ; Pologne ; Portugal ; République tchèque ; Roumanie ; Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord ; Slovaquie ; Slovénie ; Suède ; Suisse ; Turquie ; Ukraine.

travers des politiques intérieures, répondant aux objectifs légitimés au niveau national dans un profond respect de la souveraineté » (Criqui & Ilasca, 2011, p. 60).

Un accord politique, structuré par la relation USA / Chine, est finalement signé par 135 pays (80% des émissions de GES). Contrairement à Kyoto, aucun engagement chiffré n'est imposé, il ne s'agit donc en 2009 que d'un accord « de principe ».

C'est donc une approche « bottom-up » qui signe le nouvel axe des négociations politiques (Criqui & Ilasca, 2011). La conférence de Cancun en 2010 va acter l'accord politique de Copenhague. Celle-ci s'appuie sur la reconnaissance du niveau maximal de réchauffement climatique à atteindre : 2°C, en s'appuyant sur le rapport du GIEC (2007). L'engagement des pays diffère cependant car si des engagements absolus d'émission en GES sont pris pour les pays développés d'ici 2020, ces engagements sont relatifs pour les pays émergents. Ainsi, les règles sont différentes suivant les pays, suivant leur prospective de croissance économique, leur prospective sur leur dégageant en GES et sur leurs méthodes de mesure et de prévisions (Delbosq & de Perthuis, 2011).

Les accords de Cancun exigent en plus des pays hors annexe 1 qu'un organisme international travaille à l'homogénéité des dispositifs de mesure de chaque pays.

Ainsi, « ce changement de paradigme doit probablement s'accompagner, au moins dans une phase de transition, du développement de nouvelles familles de scénarios, procédant plus de l'agrégation des politiques nationales que de la déclinaison d'un objectif mondial » (Criqui & Ilasca, p. 59).

6.2 Le changement climatique : des controverses médiatisées

Les controverses sur le changement climatique peuvent être classées en différentes catégories suivant leur degré de médiatisation. En effet, si les controverses font partie de l'activité scientifique « normale », il existe aussi des controverses qui se déroulent dans la société. Les médias sont alors un partenaire privilégié pour amorcer et entretenir les controverses.

Nous distinguons alors plusieurs types de controverses :

- des controverses portant sur la dimension scientifique du changement climatique (6.2.1) : ce sont alors les résultats et les méthodes qui font l'objet de discussions et critiques ;
- des controverses portant sur les actions à mener (6.2.2) : si les choix politiques font débat, c'est à cause des incertitudes scientifiques sur les conséquences du changement climatique, mais cela révèle également les rapports de force entre pays ;
- des controverses sur le fonctionnement du GIEC (6.2.3) : ce sont les débats les plus médiatisés. Ils portent alors sur des critiques mettant en cause la crédibilité du GIEC en tant qu'organisme d'expertise scientifique.

6.2.1 Des controverses sur la dimension scientifique du changement climatique

Nous avons relevé les principales controverses médiatisées qui concernent les résultats et les méthodes scientifiques du GIEC et les avons catégorisé suivant leur objet. Nous distinguons par la suite des controverses portant sur le réchauffement climatique (6.2.1.1), sur son origine anthropique (6.2.1.2), sur les modèles numériques (6.2.1.3) et sur les conséquences (6.2.1.4).

6.2.1.1 Des controverses sur le réchauffement climatique

Les méthodes de recueil de température sont controversées, notamment en ce qui concerne la mesure des températures près d'îlots de chaleur urbaine (ICU). Certains scientifiques estiment que ces ICU rendent très incertaines les mesures effectuées par la plupart des stations météorologiques et qu'il est donc impossible qu'elles « prouvent » le réchauffement climatique. Si les 2 derniers rapports du GIEC écartent le rôle des ICU, un des auteurs du GIEC (Wei-Chyung Wang) sur la question est accusé d'avoir manipulé des données météorologiques chinoises⁶¹.

6.2.1.2 Des controverses sur l'origine anthropique du changement climatique

L'origine anthropique du changement climatique est controversée par certains scientifiques et d'autres théories ont été produites pour montrer que le réchauffement climatique peut être expliqué sans faire intervenir l'activité humaine.

La théorie de l'effet « iris » tropical que propose en 2001 le climatologue Lindzen se fonde ainsi sur une différence de qualification de la nature (positive / négative) de certaines rétroactions. Pour le GIEC, l'augmentation de température va conduire à davantage de vapeur d'eau dans l'atmosphère et donc à un accroissement de l'effet de serre (rétroaction positive), Lindzen estime au contraire, que la modification du cycle de l'eau va atténuer l'effet de serre grâce à une couverture nuageuse plus basse dans l'atmosphère (rétroaction négative). Cette contribution a néanmoins été écartée par les climatologues travaillant pour le GIEC.

De même, certains scientifiques (le physicien Svensmark ou le géophysicien Courtillot par exemple) défendent l'idée d'une influence des variations magnétiques du soleil sur le climat. Selon cette théorie dite solariste, l'activité du soleil modifie la quantité de rayons cosmiques qui arrivent sur Terre et donc la formation des nuages en basse altitude. Cette influence serait sous-estimée par les climatologues.

Le GIEC (2007) clarifie sa position, selon ses modèles, l'action du soleil ne serait que de 10%. Toutefois, le GIEC admet également que le fonctionnement du soleil est encore mal connu et doit faire l'objet d'études complémentaires.

⁶¹ Article du Guardian, *Strange case of moving weather posts and a scientist under siege*, 1/2/2010, par F. Pearce. En ligne <http://www.guardian.co.uk/environment/2010/feb/01/dispute-weather-fraud>, consulté le 4 Avril 2012.

6.2.1.3 Des controverses sur les modèles de « circulation générale »

Les conclusions des modèles numériques de « circulation générale » sont aussi controversées car de larges pans du fonctionnement climatique sont encore mal connus et certains estiment que les modèles simplifient les mécanismes mal-connus (la couverture nuageuse, les interactions entre l'atmosphère et les rayons cosmiques, le rôle de la biosphère et des océans). Le rapport du GIEC (2007) mentionne les sources d'incertitudes de ses modèles. De plus, un manque de coordination entre les modèles scientifiques et les modèles économiques sont évoqués et sont donc au sein du GIEC sources de controverses (Dahan & Guillemot, 2006).

Le statut épistémologique de ces modèles est également interrogé par les épistémologues et historiens des sciences (Armatte & Dahan, 2004). Tout d'abord c'est l'hétérogénéité des données (inputs des ordinateurs) qui est questionnée : certaines données sont des mesures physiques (comme la quantité d'énergie solaire frappant l'atmosphère, la vitesse de l'atmosphère sur son axe, etc.) alors que d'autres données sont des outputs d'autres modèles, qu'il faut alors corriger, recalibrer pour qu'elles s'adaptent les unes aux autres. Ce travail de lissage, d'ajustage des paramètres est critiqué car il peut conduire à négliger ce qui est difficilement quantifiable. De plus, les conditions de validation des preuves sont épistémologiquement difficiles à estimer : « dans la climatologie actuelle, le problème épistémologique et méthodologique est d'autant plus délicat que les modèles climatologiques veulent rendre compte, non pas tant du climat, mais de la sensibilité du climat à l'effet anthropique, pour répondre à la question de l'intensification de l'effet de serre. L'absence de trajectoire de référence rend la démarche de validation de ces modèles particulièrement délicate » (Armatte & Dahan, 2004, p. 274).

Les modèles numériques de « circulation générale » sont également critiqués pour leur hégémonie : « cette hégémonie suscite des discussions au sein même de la communauté des spécialistes. Si les modèles n'ont pas forcément tort pour reprendre ici l'expression d'Hervé Le Treut, cette méthodologie, pivot hégémonique de la recherche, a besoin d'être accompagnée de programmes différents pour recouper les résultats qu'elle produit » (Armatte & Dahan, 2004, p. 278).

6.2.1.4 Des controverses sur les conséquences du changement climatique

L'ampleur qu'aura le changement climatique et ses conséquences font l'objet d'importantes recherches et de controverses. En effet, l'importance du changement, sa réversibilité, le comportement de la biosphère suivant les régions sont très difficiles à estimer au regard des connaissances que les scientifiques ont du climat. Ces points sont donc des objets de controverses, y compris au sein du GIEC. Si un consensus se dégage par exemple sur la montée moyenne des eaux au cours du XXI^{ème} siècle, les spécialistes ne s'accordent ni sur son ampleur ni sur la variabilité suivant les régions du monde.

6.2.2 Des controverses sur les actions à mener contre le changement climatique

D'un point de vue politique, la montée en puissance économique des pays hors annexe I de la CCNUCC, s'accompagne d'une remise en question des méthodologies utilisées. Comme l'écrivent Dahan & Guillemot (2006, p. 429) : « le langage de la modélisation est un 'langage du Nord' qui a eu ses mérites mais ne peut plus suffire aujourd'hui », avons-nous entendu à plusieurs reprises ». Aussi, le basculement des rapports de force lors des conférences internationales s'accompagne de nouvelles controverses sur les moyens d'action que se donnent les états, y compris dans le rôle joué par le GIEC.

Des actions scientifiques et techniques, dites de géo-ingénierie, sont aussi étudiées et commencent à intéresser les USA et le Royaume-Uni par exemple. La géo-ingénierie comprend deux types de méthode : celles qui visent à capturer et piéger le CO₂ et celles qui visent à dévier ou occulter une partie du rayonnement solaire. Ces techniques sont controversées (techniquement mais aussi par l'image « prométhéenne » qu'elles véhiculent, ainsi que sur leurs éventuels impacts sanitaires et environnementaux). Toutefois, les politiques anglo-saxons commencent à envisager leurs possibilités (Marsollat, 2011).

6.2.3 Des controverses mettant en cause la crédibilité du GIEC

Plusieurs éléments des différents rapports du GIEC ont été critiqués et ont jeté un doute sur la crédibilité du GIEC. Ces éléments ont été très médiatisés, notamment par la presse écrite.

6.2.3.1 Des erreurs dans les rapports

La controverse la plus fameuse concerne la présentation dans le troisième rapport du GIEC (2001) de la courbe en forme de « crosse de hockey » de l'évolution de la température moyenne de la terre en fonction du temps. Les critiques relèvent des erreurs de méthodologie (erreurs statistiques, biais dans le choix des données) qui conduisent à nier l'existence d'une période chaude au Moyen-Age. Les défenseurs de la courbe prônent que tous les modèles suivants ont indiqué les mêmes résultats : une augmentation de la température moyenne. Le GIEC (2007) confirme son rapport en 2001, en précisant que la période chaude au Moyen-Age est mineure et centrée sur l'hémisphère nord.

De même, des critiques portant sur les conséquences du changement climatique décrites dans le rapport du GIEC (2007) ont été médiatisées : une erreur sur la rapidité de la fonte des glaciers de l'Himalaya a été répertoriée. En effet, il est écrit dans le rapport du GIEC (2007) qu'il n'y aurait probablement plus de glaciers en Himalaya en 2035. Le GIEC a alors reconnu une « erreur isolée » dans le processus d'écriture du rapport⁶².

⁶² En ligne <http://www.liberation.fr/terre/0101617145-fonte-des-glaciers-pachauri-plaide-l-erreur-isolee>, consulté le 26/02/2012.

6.2.3.2 Le climate Gate

En Novembre 2009, un hacker rend public un millier de mails échangés entre scientifiques travaillant pour le GIEC (du CRU, Climate Resarch Unit). Ces échanges de mails révèlent un scandale majeur de déontologie appelé le Climate Gate. En effet, les scientifiques sont alors accusés de conflit d'intérêts avec les reviewers du GIEC et de manipulation de données pour construire des courbes favorisant l'origine anthropique du changement climatique. L'enquête diligentée par le Parlement britannique a conduit par la suite à réhabiliter les scientifiques de CRU.

6.2.3.3 Une institution controversée

Le GIEC est la cible de différents types d'attaques.

Une première forme d'attaque est la dénonciation d'éventuels conflits d'intérêts entre groupes industriels et membres du GIEC. C'est ainsi qu'en début 2010, le président du GIEC, Rajendra Kumar Pachauri, a été accusé de conflits d'intérêts et d'enrichissement personnel car il est aussi un dirigeant de la principale compagnie d'énergie indienne.

D'autres attaques sont plutôt liées à des « théories complotistes ». C'est ainsi qu'Allègre voit dans le GIEC un groupe « totalitaire », qui « impose une vérité » et donc qui cache *la vérité* aux citoyens : « de fil en aiguille on découvre que le GIEC a constitué un groupe de pression ayant des pratiques totalitaires imposant une vérité officielle contrôlant les revues scientifiques, empêchant l'expression des opinions contradictoires et mettant donc à bas le mécanisme essentiel de la science qui est le libre débat d'idées. »⁶³

De même, Lenoir (2001) traite le GIEC de «machinerie climatocratique», dont l'objectif réel est d'obtenir des financements pour les sciences du climat en développant un discours alarmiste.

6.2.3.4 Le rôle du lobbying dans les controverses

Les chercheurs travaillant sur le changement climatique se font l'écho de menaces, de pressions et de harcèlement, quelle que soit leur position sur la question⁶⁴.

La pression qui serait sur le travail scientifique met alors en exergue le travail de différents lobbys qui cherchent à présenter le changement climatique suivant leurs intérêts économiques ou idéologiques.

Différents ONG ou « think tank » interviennent également dans des controverses en tant que lobbys. Par exemple, le rôle de certaines ONG comme Greenpeace dans l'écriture du Rapport spécial sur les sources renouvelables d'énergie et sur la lutte contre le changement climatique, publié en Juin 2011, a été controversé. En effet, un chapitre de ce rapport reprenait une étude de Greenpeace sans la nommer, ce qui posait la question d'un conflit d'intérêts pour certains experts du GW 3 qui avaient écrit le rapport.

De l'autre côté, des think tanks (financés par des grands industriels, des fondations et des particuliers) sont accusés de financer des campagnes destinées à promouvoir le climato-

⁶³ C. Allègre : article dans [slate.fr](http://www.slate.fr/story/17689/giec-allegre-climat-rechauffement-polemique-scandale) : Il faut supprimer le GIEC, 23/02/2010, en ligne <http://www.slate.fr/story/17689/giec-allegre-climat-rechauffement-polemique-scandale> consulté le 26/02/2012.

⁶⁴ Par exemple : des climatologues seraient menacés de mort en raison de leurs travaux , article du Monde du 30/6/2011 ou bien Scientists threatened for 'climate denial', article du Sunday Telegraph, Tom Harper, 11/3/2007.

scepticisme (Godard, 2011). C'est par exemple la controverse qui a agité le Heartland Institute aux Etats-Unis, dont des mémos rendus publics indiquaient qu'il cherchait à « entretenir sur le Net "des voix qui s'opposent" au consensus sur le climat et "des groupes capables de mobiliser rapidement des réponses face à des découvertes scientifiques, des articles de presse ou des billets de blog défavorables" » (Le Monde, L'origine de la fuite des documents du Heartland institute a été révélée, 12/2/2012)⁶⁵.

Ainsi, certains groupes sont soupçonnés de privilégier certaines positions, à l'intérieur du GIEC et dans les instances politiques.

6.2.3.5 Des controverses médiatisées

Les controverses liées au changement climatique sont médiatisées et les positions du GIEC et de ces opposants sont abondamment relayées dans la presse et sur Internet.

Les positions d'Allègre ont eu par exemple une couverture médiatique très importante en France. De même, la question du climat est généralement abordée en « une » de la presse lors des sommets internationaux qui ont lieu au mois de décembre. Les positions du GIEC sont ainsi critiquées généralement par des experts qui ne sont pas des experts du climat et dans des tribunes « grand public ».

Godard (2011) décrit la « vague médiatique climato-sceptique » de décembre 2009 : « cette vague a été amorcée par les prises de position tapageuses de Claude Allègre, (...) elle a surpris et choqué les chercheurs et les journalistes scientifiques par sa violence et par ses procédés. Elle a été relayée par nombre de faiseurs d'opinions, sur tout l'échiquier politique, à gauche comme à droite, s'exprimant dans les quotidiens, du *Figaro* et des *Échos* à *Libération*, ou dans les magazines comme *l'Expansion* et *l'Express*, notamment, mais aussi dans des émissions de radio et de télévision, dans des conférences organisées dans des universités ou des écoles d'ingénieur, dans des colloques plus institutionnels que scientifiques et enfin sous la forme d'ouvrages, comme cela a déjà été noté. De plus tout cela se retrouvait diffusé et amplifié sur Internet ».

Cette médiatisation s'est poursuivie au Printemps 2010, quand 604 chercheurs sur le climat ont interpellé par lettre ouverte la ministre de l'époque de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur, V.Pécresse : « les accusations publiques sur l'intégrité des scientifiques du climat sortent des cadres déontologiques et scientifiques au sein desquels nous souhaitons demeurer. Nous pensons que ces accusations demandent une réaction de votre part, et l'expression publique de votre confiance vis-à-vis de notre intégrité et du sérieux de nos travaux. Au vu des défis scientifiques posés par le changement climatique, nous sommes demandeurs d'un vrai débat scientifique serein et approfondi ».⁶⁶

La saisie de l'Académie des Sciences par la ministre a conduit à la rédaction d'un rapport qui conclue sur la pertinence des travaux du GIEC.

⁶⁵ En ligne http://www.lemonde.fr/planete/article/2012/02/21/l-origine-de-la-fuite-des-documents-du-heartland-institute-a-ete-revelee_1646404_3244.html, consulté le 12/2/2012.

⁶⁶ Cette lettre est mise en ligne : <http://sciences.blogs.liberation.fr/files/lettre-6avril.pdf>, consultée le 15 Mars 2012.

6.3 Le changement climatique dans les programmes de Physique

L'étude du climat est inscrit dans le référentiel du Bac STAV de l'enseignement agricole. Le module M9 mentionne en effet l'effet de serre dans la rubrique « énergie rayonnante ». Les compétences attendues sont « expliquer son principe et commenter le bilan radiatif terrestre ; exposer la problématique de l'évolution du climat ». Aucune explicitation n'est alors donnée sur la nature de cette « problématique ». C'est la seule occurrence relative au climat que nous avons trouvée dans les programmes de physique-chimie de l'enseignement secondaire en France.

6.4 Le changement climatique : des recherches en didactique

Nous distinguons deux types de recherche en didactique :

- des recherches de didactique des sciences sur les conceptions liées au fonctionnement du climat (6.4.1) ;
- des recherches sur le changement climatique en tant que « savoir vif » (6.4.2) : ce sont alors des recherches issues des travaux sur les SSI ou les QSV.

6.4.1 Des recherches sur les conceptions

Les études menées concernent le lien entre la médiatisation et les conceptions des élèves (6.4.1.1), ainsi que l'importance des conceptions sur la destruction de la couche d'ozone (6.4.1.2). Ce sont tout de même les conceptions liées à l'effet de serre qui sont principalement étudiées (6.4.1.3).

6.4.1.1 Les conceptions et la médiatisation

Selon Urgelli (2004, p. 8), « d'une manière générale, on peut dire que les étudiants ont des représentations simplistes et catastrophistes des problèmes d'environnement. On peut les résumer de la manière suivante : "L'homme (voitures et usines) produit une pollution qui détruit la nature ». Les études⁶⁷ montrent que les représentations sont homogènes chez les élèves et qu'elles sont liées « à la médiatisation massive des désordres climatiques ».

⁶⁷ Les études citées par Urgelli (2007) sont :
Anderson, B. & Wallin, A. (2000). Students' Understandings of the Greenhouse Effect, Societal Consequences of Reducing CO2 Emissions and why the Ozone Layer Depletion is a Problem. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 10, 1096-1111.
Henriksen, E. & Jorde, D. (2000). High school Student's understanding of radiation and the Environment : can Museums play a role ? *Science Education*, 85, 191-206.
Koulaidis, V., & Christidiou, V. (1999). Models of Students thinking concerning the Greenhouse effect and Teaching Implications. *Science Education*, 83, 559-576.

6.4.1.2 La confusion effet de serre / destruction de la couche d'ozone

Anderson & Wallin (2000, p. 1097) relèvent la confusion fréquente que les élèves font entre effet de serre et destruction de la couche d'ozone : « one common feature of the various studies, as pointed out by the different authors, is that the students confuse the depletion of the ozone layer with the greenhouse effect, or regard them as more or less the same thing ».

Les élèves pensent ainsi que l'effet de serre augmente avec les trous dans la couche d'ozone car il y a davantage de rayonnements solaires « entrants ». Les auteurs recensent également des confusions dans les conséquences associées aux deux phénomènes : l'augmentation de l'effet de serre conduit ainsi pour certains élèves à une hausse des radiations solaires et des cancers de la peau ; les trous dans la couche d'ozone conduisent pour d'autres élèves à une augmentation de température et à une hausse des cancers de la peau.

6.4.1.3 Les conceptions sur l'effet de serre

6.4.1.3.1 Une approche anthropique de l'effet de serre

L'étude de Anderson & Wallin (2000, p. 1110) relève également une association chez le groupe d'élèves étudié entre « effet de serre » et « augmentation de l'effet de serre » : « Yet another observation is that at least half the students understand the greenhouse effect as the enhancement of that effect. This may reflect linguistic usage occurring in the media. For instance, an editorial in a major Swedish newspaper pointed out the necessity of combating the greenhouse effect by emitting less carbon dioxide ». Urgelli (2004, p. 8) explique que cette confusion « s'explique par la tendance à considérer l'effet de serre exclusivement comme un problème environnemental, en ignorant le fait qu'il est le résultat d'un mécanisme naturel ».

6.4.1.3.2 Différentes conceptions des élèves

L'étude d'Anderson & Wallin (2000) distingue plusieurs conceptions de l'effet de serre chez les élèves de 15-19 ans. Elles sont représentées sur le schéma suivant (figure 2) :

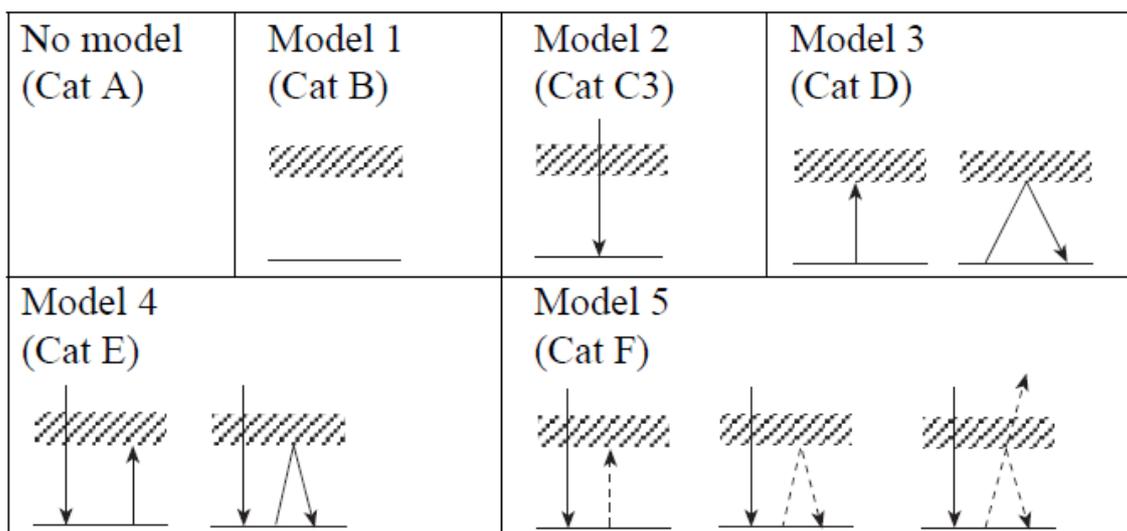


Figure 2 : Explications des élèves sur la nature de l'effet de serre. Représentations imagées des catégories de réponses (Anderson & Wallin, 2000, p. 1103)

Le modèle 1 correspond à une explication qui mobilise l'atmosphère (sa composition) et la Terre (sa température).

Le modèle 2 fait intervenir la couche d'ozone : les trous dans celle-ci laissent passer davantage de rayonnement solaire.

Dans le modèle 3, les GES jouent le rôle d'une barrière qui retient la chaleur produite sur Terre.

Dans le modèle 4, le rayonnement solaire joue le rôle d'un rayonnement « entrant ». Comme dans le modèle 3, les GES jouent le rôle d'une barrière.

Dans le modèle 5, le rayonnement incident et le rayonnement émis par la terre sont différents. Les GES jouent le rôle d'une barrière mais celle-ci peut être traversée.

Le modèle 4 est le plus fréquemment rencontré dans l'étude d'Anderson & Wallin (2000).

6.4.1.3.3 Etudes sur les conceptions des enseignants

Viennot (1996) décrit une étude portant sur l'explication que donnent 85 enseignants de Physique de l'effet de serre. Nous reprenons l'encadré (Viennot, 1996, p. 126) qui décrit les conceptions « représentatives » de cette étude (figure 3) :

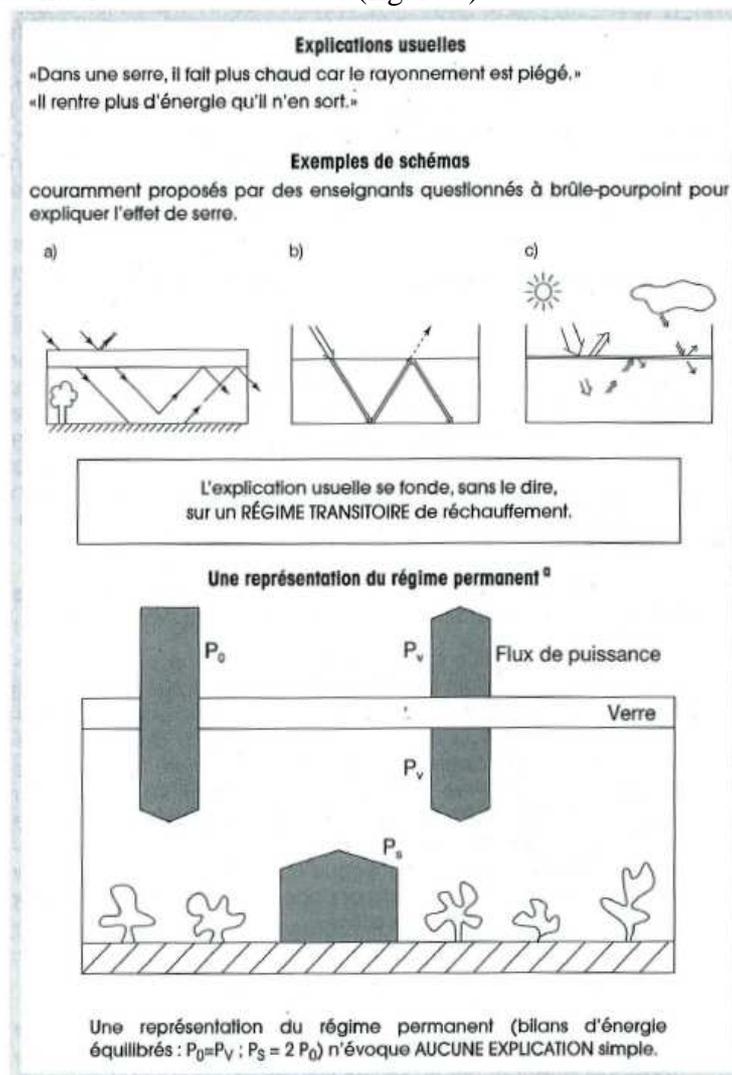


Figure 3 : Encadré qui reprend les conceptions « représentatives » de l'effet de serre (Viennot, 1996, p. 126)

On retrouve une certaine similarité entre les études portant sur les élèves et celles portant sur les enseignants. Dans les deux cas, l'atmosphère est assimilée à « une barrière » qui « piège » le rayonnement émis par la Terre.

Viennot (1996) note que toutes les explications fournies par les enseignants se fondent sur la description d'un régime transitoire plutôt que celle d'un régime permanent. Elle interprète ces explications comme la propriété qu'a le raisonnement linéaire causal d'effacer la simultanéité et la permanence, de façon à raconter une histoire. L'effet de serre, en tant qu'histoire, est donc raconté comme s'il était un régime transitoire, mais dont la nature transitoire n'est pas explicitée.

6.4.2 Recherches sur le changement climatique

Les recherches sur le changement climatique sont également des recherches qui s'inscrivent dans la problématique des SSI ou des QSV. En ce sens, le thème du changement climatique permet d'étudier plus largement certaines caractéristiques de l'enseignement ou de l'apprentissage d'une controverse socioscientifique.

Certaines études utilisent donc le changement climatique comme thème permettant d'étudier l'apprentissage des élèves sur la nature de la science (6.4.2.1), alors que dans d'autres études, c'est l'enseignement de la controverse qui est objet d'étude (6.4.2.2).

6.4.2.1 Recherches sur l'apprentissage de la nature de la science

Le changement climatique est en effet pris comme support pour étudier l'apprentissage des élèves sur la nature de la science. Le lien entre la controverse socioscientifique et la nature de la science construite dans la situation proposée est alors souvent un objet d'étude.

C'est ainsi que Bader (2003) propose une situation mettant en scène un débat entre deux chercheurs qui ne partagent pas les mêmes priorités de recherche sur la question du changement climatique. L'objectif de Bader (2003, p. 235) est alors « d'étudier comment des stratégies argumentatives particulières [des élèves] contribuent en contexte à privilégier une certaine image des sciences et de leur socialité ».

La recherche de Bader (2003, p. 246) montre que les élèves ont des difficultés à envisager l'existence de controverses en sciences, qu'ils ont une vision cumulative de la science « qui découvre ses objets grâce à l'objectivité du scientifique » et que la dimension sociale de l'activité scientifique est peu présente dans leur discours. Bader (2003, p. 247) conclue alors sur la nécessité « d'actualiser l'image des sciences que ces jeunes du secondaire mobilisent pour donner sens à une controverse sociotechnique ».

Sadler, Chambers & Zeidler (2004) s'appuient sur la présentation de deux documents aux points de vue opposés sur le changement climatique pour étudier les conceptions sur la nature de la science (signification des données ; aspect provisoire de l'activité scientifique ; évaluation d'une information conflictuelle) d'un groupe d'étudiants (par questionnaire puis entretien). Sadler, Chambers & Zeidler (2004) montrent alors que moins de 50% de l'échantillon donne un sens au mot « données ». Ils notent également une appréciation correcte de l'intégration sociale des sciences et concluent sur la pertinence d'étudier le changement climatique pour étudier les conceptions sur la nature de la science des étudiants : « as this study demonstrates, the global warming issue can be effectively used for student investigations of science's empiricism, tentativeness, and cultural embeddedness » (p. 403).

Albe & Gombert (2010) ont construit un jeu de rôle sur le changement climatique et elles ont analysés les jeux rhétoriques entre élèves, ainsi que les savoirs mobilisés. Les élèves utilisent souvent le registre épistémologique ou la dimension sociale de la science pour appuyer leur argumentation ou bien réfuter l'argumentation concurrente. Leur étude indique de plus que « les élèves sont capables d'échanger sur ce registre épistémologique et social et ouvre des voies en faveur d'une possible complexification des points de vue épistémologiques des élèves » (Albe & Gombert, 2010, p. 122).

6.4.2.2 Recherches sur l'enseignement

Les recherches liées à l'enseignement du changement climatique mettent en œuvre des méthodologies de « focus group » d'enseignants. Ce sont alors les déclarations des enseignants qui sont l'objet d'étude.

La recherche de Gayford (2002) s'appuie sur un stage de formation continue d'enseignants anglais. L'article étudie la manière dont les enseignants de sciences intégreraient le changement climatique dans leur cours. Les enseignants déclarent que les éléments scientifiques mobilisés devraient être :

« *The topics most directly related to GCC included: the nature and composition of the Earth's atmosphere, energy transfers (especially radiation), the properties of waves, the water cycle, plant growth and development, photosynthesis.*

The topics less directly related to GCC included: atmospheric pollution (nitrogen oxides, sulphur dioxide, burning of fossil fuels, etc.), plate tectonics (volcanoes, etc.), gas laws, materials and their properties (changes in state, etc.), kinetic theory, the galaxy (particularly the Sun and the solar system) » (Gayford, 2002, p. 1196).

Les enseignants déclarent de plus que traiter du changement climatique en classe permet de travailler des questions liées à la nature de la science, principalement:

- « (1) An understanding of the nature of scientific knowledge and that it is provisional.
- (2) Appreciation of a historical perspective to the development of scientific knowledge and that it is in a state of change.
- (3) Appreciation of and, as far as possible, participation in the process of how scientific knowledge is gained, what counts as evidence, how evidence is linked to prediction, analysis and the synthesis of ideas. » (Gayford, 2002, p. 1197)

Urgelli (2009) étudie l'engagement d'enseignants de différentes disciplines pour traiter le changement climatique. Il définit alors 3 logiques d'engagement, décrites dans le cadre des postures de Kelly (1986) :

« 1- Si l'enseignant considère qu'il doit contribuer à une éducation citoyenne (à la complexité et aux choix sur la question), il déclare adopter et affiche dans ses productions une posture d'impartialité (neutre pour l'enseignant qui doute sur l'expertise et engagée pour celui qui est convaincu des risques climatiques).

2- Si l'enseignant considère qu'il doit fondamentalement contribuer à un enseignement de concepts scientifiques, sa posture déclarée est celle de la neutralité exclusive mettant à distance ses convictions sur la question.

3- Enfin si l'enseignant considère qu'il doit contribuer à une éducation pour le développement durable et la transformation des conduites, il affiche une posture de partialité exclusive (ou d'impartialité engagée, s'il estime qu'il doit donner sa vision parmi toutes les autres pour aider les élèves à se déterminer) » (Urgelli, 2009, pp. 317-318).

Résumé du chapitre 6

Le changement climatique est un objet scientifique récent et relève d'une nouvelle « big science », symbolisée par le GIEC. En effet, l'étude du changement climatique est financée par chaque état participant au GIEC, de nombreux scientifiques et laboratoires du monde entier collaborent ensemble et leurs études sont compilées par le GIEC, les supercalculateurs les plus puissants sont utilisés pour modéliser le climat. La particularité du GIEC est qu'il constitue un organisme hybride, où activité scientifique et politique s'entremêlent. Les rapports d'expertise du GIEC sont ainsi des documents d'expertise qui servent aux négociations pour une gouvernance mondiale du climat.

Le changement climatique est un objet scientifique « vif » à différents niveaux.

Tout d'abord, nous avons vu dans les « savoirs de référence » que si le changement climatique et l'impact des activités humaines sur ce changement fait l'objet d'un consensus pour le GIEC, il existe également des controverses sur les méthodes et techniques utilisées, sur l'hégémonie et le fonctionnement des modèles climatiques, sur la pertinence des prévisions des modèles, etc. Autrement dit, le changement climatique est au cœur de la science en action du XXI^{ème} siècle, et son étude nous semble un exemple intéressant du fonctionnement de l'activité scientifique à l'heure actuelle (d'un point de vue sociologique : le GIEC est à l'interface du scientifique et du politique ; d'un point de vue épistémologique : les modèles cherchent à intégrer théories physiques et économiques dans une « Terre virtuelle », etc.) .

Le changement climatique est également une question « vive » d'un point de vue social.

Une forte médiatisation accompagne chaque fin d'année la tenue des sommets internationaux sur le climat, ainsi que la publication des rapports du GIEC (dont des digests constituent des marronniers pour les revues de vulgarisation scientifique). On note également périodiquement une résurgence de points de vue opposés aux conclusions du GIEC.

Le traitement du changement climatique dans les savoirs scolaires en fait également une question « vive » car les contenus et objectifs d'enseignement ne sont pas stabilisés, du fait d'une présence anecdotique dans les programmes des disciplines scientifiques (notamment en physique-chimie).

Nous pouvons donc considérer le changement climatique comme une question socialement vive d'après la définition donnée par Legardez & Simonneaux (2006). En ce sens, le changement climatique constitue un support de recherche sur l'apprentissage / enseignement d'une controverse socioscientifique.

Nous avons maintenant deux supports pour étudier l'écologie des controverses socio-scientifiques, car l'énergie et le changement climatique sont nos deux objets dont nous pouvons étudier l'articulation. Nous pouvons donc maintenant adopter deux perspectives pour nous intéresser à cette écologie :

- comparer les savoirs et construire des points d'articulation « hors sol », c'est-à-dire en prenant pour référence un système didactique « projeté » dans lequel cette articulation puisse vivre : il s'agirait alors de construire une ingénierie qu'il faudrait ensuite éprouver en classe ;
- prendre pour référence le système didactique, dans toute son épaisseur expérientielle. Le travail consiste alors à partir de pratiques ordinaires pour en inférer des points d'articulation ou de tension.

Nous choisissons la deuxième voie, car nous estimons comme Schubauer-Leoni & Leutenegger (2002, p.228) que « nous savons encore bien peu sur « ce qui se passe » dans la dialectique d'enseignement / apprentissage telle qu'elle s'actualise dans une classe ». Nous avons de plus vu que les pratiques « effectives » d'enseignants sont très peu étudiées, aussi bien sur l'enseignement de l'énergie (voir 5.3.3, p. 71) que du changement climatique (voir 3.2.5, p. 49). En ce sens, partir des pratiques ordinaires peut permettre de documenter des descriptions de pratiques sur ces savoirs. De plus, il s'agit alors de comprendre également dans l'action quels déterminants interviennent pour l'enseignement des savoirs liés à l'énergie (« science faite ») et au changement climatique (« science en action »).

Nous nous intéressons donc dans la suite à l'analyse des pratiques enseignantes, pour construire des outils théoriques qui nous permettraient de décrire les pratiques.

Partie 3 : Analyser les pratiques d'enseignement : un modèle et des outils théoriques

« Toute institution fonctionne en partie comme un jeu, de sorte qu'elle se présente aussi comme un jeu qu'il a fallu instaurer, reposant sur de nouveaux principes et qui a dû chasser un jeu ancien. Ce jeu inédit répond à d'autres besoins, met en honneur d'autres normes et législations, exige d'autres vertus et d'autres aptitudes. De ce point de vue, une révolution apparaît comme un changement des règles du jeu »

R. Caillois, *Les jeux et les hommes*, 1967.

Sommaire de la partie 3

7. MODÉLISER LES PRATIQUES ENSEIGNANTES	95
7.1 La pratique de classe : enseigner et apprendre	95
7.2 Comment décrire la pratique de l'enseignant ?.....	97
7.3 Épistémologie de l'enseignant et pratique d'enseignement : l'épistémologie pratique	106
Résumé du chapitre 7.....	112
8. COMMENT CARACTÉRISER L'ACTION LANGAGIÈRE DE L'ENSEIGNANT ?	113
8.1 L'action de l'enseignant : une action principalement verbale.....	113
8.2 L'analyse communicationnelle	116
8.3 L'analyse didactique des jeux de langage	123
Résumé du chapitre 8.....	126
9. PROBLÉMATIQUE	127
Résumé du chapitre 9.....	129

7. Modéliser les pratiques enseignantes

Pour documenter des pratiques sur l'enseignement de l'énergie et du changement climatique, nous avons besoin d'outils théoriques qui nous permettent de décrire *ce qui se passe* en classe. C'est l'objet des recherches qui concernent l'analyse des pratiques enseignantes.

Nous présentons tout d'abord les objectifs puis les orientations épistémologiques de différents courants étudiant les pratiques enseignantes (7.1). Dans un second temps, nous présentons la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD), qui nous semble intéressante car elle propose à la fois des outils de description et un modèle théorique de l'action enseignante (7.2). Elle est également intéressante dans notre perspective car elle fait de l'épistémologie de l'enseignant un déterminant de la pratique. Nous développons donc comment la TACD intègre l'épistémologie de l'enseignant dans sa conception de la pratique et la compléterons avec l'apport des recherches sur la Nature Of Science (NOS) (7.3).

7.1 La pratique de classe : enseigner et apprendre

Nous nous intéressons tout d'abord aux objectifs de l'analyse des pratiques (7.1.1), puis aux fondements épistémologiques qui supportent les différents courants théoriques (7.1.2).

7.1.1 L' « effet-maître »

Les recherches en sciences de l'éducation ont montré qu'il existe une relation entre l'enseignement dispensé par un enseignant et l'apprentissage effectif des élèves : il s'agit de l'« effet-maître » (Bru, 2002 ; Bru, Altet & Blanchard-Laville, 2004). Ces mêmes recherches insistent sur le rôle important que joue cet « effet » dans l'apprentissage des élèves.

Cet « effet » pose cependant des questions épineuses aux chercheurs : que se passe-t-il dans la classe qui permettrait de caractériser cet effet ? Est-il lié à la personnalité de l'enseignant ? Aux techniques d'enseignement utilisées par l'enseignant ? Est-ce lié à l'organisation matérielle de la classe ?

Comprendre l'« effet-maître » nécessite ainsi d'aller voir ce qui se joue dans la classe, *entre* le maître et ses élèves.

Selon Bru (2002), il y a deux objectifs à l'analyse des pratiques enseignantes :

- un objectif de recherche : il s'agit alors de caractériser l'effet-maître pour en comprendre son fonctionnement. Bru (2002, p. 68) écrit en effet que « la mission de la recherche reste de rassembler et de confronter des éléments de description, de compréhension et d'explication relatifs aux pratiques enseignantes » ;
- un objectif de formation : mieux comprendre les pratiques enseignantes, c'est se donner les moyens de l'améliorer à travers la formation des enseignants et c'est donc à terme une plus grande efficacité du système éducatif qui est visée : « sous le terme générique d' « analyse de pratiques » on désigne une large variété de dispositifs qui ont en commun de considérer les pratiques à la fois comme un sujet de réflexion (à travers leur analyse) et but (conceptualiser les pratiques pour les améliorer) de la formation » (Bru, 2002, p. 66).

7.1.2 Les courants de référence de l'analyse de pratiques

L'idée que l'enseignant joue un rôle dans l'apprentissage des élèves n'est pas neuve et plusieurs courants sont à l'œuvre pour tenter de caractériser ce qui chez l'enseignant influence l'apprentissage des élèves.

- Le courant processus-produit s'est développé dans le cadre de recherches sur les enseignements efficaces. Celles-ci ont ainsi mis en évidence l'effet-maître en mettant en relation les comportements observables des enseignants (les processus) et l'apprentissage des élèves (les produits). Les relations trouvées peuvent se classer suivant deux catégories : les comportements de gestion de l'ordre dans la classe et ceux concernant la matière à enseigner (Casalfoire, 2002). Ce sont par exemple l'effet du climat de la classe, l'effet du temps consacré à l'apprentissage, l'effet de la clarté des consignes, etc. (Bru, Altet & Blanchard-Laville, 2004). Ce courant d'inspiration béavioriste a eu le mérite de quantifier l'effet-maître et d'identifier des catégories de variables optimisant l'apprentissage. Toutefois, la question de la compréhension de cet effet reste entière car la somme des différents effets relevés n'explique en rien l'effet *global* de l'enseignement sur l'apprentissage : « considérer les performances et les progressions des élèves comme produit de l'enseignement sans chercher à savoir comment s'est déroulé l'apprentissage sous les conditions créées par l'enseignant fait non seulement courir le risque d'une attribution hasardeuse de l'origine de ces performances mais surtout, laisse sans ressource la tentative de comprendre comment se produisent les effets de l'enseignement » (Bru, Altet & Blanchard-Laville, 2004, p. 79).

C'est sans doute la fondation métaphysique du béaviorisme qui constitue son principal talon d'Achille. On ne peut pas rendre compte de manière satisfaisante de certains comportements complexes sans faire intervenir la « boîte noire » qui se trouve entre le stimulus (l'action enseignante) et la réponse (l'apprentissage des élèves). Autrement dit, certains comportements nécessitent d'être décrits en termes d'intentionnalité : but, sens, motivation, etc. Ces mots sont nécessaires pour pouvoir avoir une explication rationnelle du comportement.

C'est en effet la revendication de s'occuper de l'activité psychologique *interne*, cette préoccupation d'entrer dans la « boîte noire », qui fit émerger les sciences cognitives.

- Le courant cognitivist s'est ainsi développé avec l'essor des sciences cognitives. L'action y est définie par l'*intentionnalité*, c'est-à-dire qu'elle inclut tout comportement guidé par des intentions, des désirs ou par des causes internes. Ce paradigme s'attache ainsi à caractériser l'effet-maître en mettant l'accent sur la pensée de l'enseignant vue comme plan d'action. La pratique enseignante est alors vue exclusivement sous l'angle de la cognition des enseignants : « l'agir est alors réduit à l'exécution de l'action, à la mise en œuvre de ce qui a été décidé. La cognition n'opère que dans le moment qui précède l'action. Les analyses portent sur la planification et les représentations de l'acteur sur l'action » (Marcel, Olry, Rothier-Bautzer & Sonntag, 2002, p. 143).

Selon cette perspective, agir c'est mettre à exécution ses intentions, ses projets en vue d'un objectif. L'action est alors le produit d'un calcul en vue de la réalisation de cet objectif. Elle se produit donc *après* la cognition, elle est le produit d'une représentation des circonstances dans lesquelles l'action se déroule.

Les *intentions* de l'enseignant sont alors susceptibles, par le discours des enseignants sur leur action, de rendre compte de l'action.

- Le courant de l'action et de la cognition situées propose une perspective moins radicale que le paradigme cognitivist tout en proposant une théorie de la cognition. L'accent n'est plus mis sur le plan prédéfini qui dirige l'action mais sur l'exécution de

l'action. L'action prend par conséquent son sens, non dans le plan prédéfini, mais dans un contexte particulier, celui d'une situation. Casalfiore (2002, p. 81) écrit ainsi que « l'action qui se joue à un moment donné n'est pas élaborée rationnellement à partir de représentations préexistantes qui la décriraient en détail. Les plans mentaux n'auraient pas le statut que le courant de la cognition symbolique leur donne. Antérieurs à l'action, ils cadrent l'action jusqu'au moment où la rencontre avec la situation concrète de mise en œuvre permet l'émergence de l'action et sa structuration ». L'action est alors conçue comme une interaction avec une situation et la cognition n'est alors plus conçue comme uniquement mentale. Une partie de la cognition est par conséquent à la charge de la situation⁶⁸. Cette façon d'envisager l'action et la cognition est résumée par Fornel & Quéré (1999, p. 28) : « ce qui rend possible la pensée individuelle c'est l'existence d'un environnement stable de pensées, de conceptions, de représentations et de significations qui ne sont celles de personne, bref d'un “ esprit objectif ” dont les supports sont les pratiques, les us et coutumes, et les institutions d'une société ». Ce courant a l'intérêt de déplacer l'étude du discours de l'enseignant vers le contexte d'enseignement et les interactions en classe.

- Le courant du socioconstructivisme est fondé sur les travaux de Piaget et Vygotsky. Selon cette théorie, les processus cognitifs et les activités sociales se constituent mutuellement, à un niveau local dans les interactions sociales et à un niveau global dans des contextes culturels. L'action est de plus médiatisée par des outils matériels ou symboliques (comme le langage). Ainsi, selon Griggs (2006, p. 98), « au cours d'une activité, l'itinéraire naturel de développement d'un individu entre en contact avec des objets matériels et des schémas de comportement du monde extérieur, qui s'intériorisent et se transforment en processus se déroulant au niveau mental. L'agir social est donc le principal moteur de développement humain ». L'action est par conséquent non seulement située, elle est aussi situante.

7.2 Comment décrire la pratique de l'enseignant ?

Nous nous intéressons aux travaux issus des courants de l'action située et d'inspiration socioconstructiviste. Dans ce cadre, nous présentons la théorie de l'action conjointe en didactique et ses principaux concepts (7.2.1). Les développements de cette théorie ont amené à une modélisation de l'action enseignante que nous utiliserons par la suite (7.2.2).

7.2.1 La théorie de l'action conjointe en didactique (TACD)

Sensevy (2007, p. 13) considère que « la fonction essentielle de cette théorie consiste dans la production d'un vocabulaire qui permette des descriptions systémiques des processus d'enseignement et d'apprentissage ».

Cette théorie donne ainsi un cadre et fonde une méthodologie pour décrire l'action enseignante dans une perspective didactique.

⁶⁸ Un courant au sein de la cognition située, appelée cognition distribuée, va même jusqu'à étendre la cognition à certains éléments de l'environnement (matériels, symboliques) qui participent à l'action.

Nous commencerons par définir l'action didactique (7.2.1.1) pour s'attacher ensuite à décrire les concepts fondamentaux de la TACD, que sont les transactions didactiques et le contrat didactique (7.2.1.2). Nous distinguons le concept essentiel de milieu didactique (7.2.1.3) et développons brièvement les opérateurs (triplet de genèses) permettant de décrire son évolution (7.2.1.4).

7.2.1.1 Qu'est-ce que l'action didactique ?

L'action didactique est selon Sensevy (2007, p. 14) « ce que les individus font dans des lieux (des institutions) où l'on enseigne et l'on apprend ».

Un postulat de cette théorie est de considérer le savoir de façon dialogique (Morin, 1990), comme trait d'union des deux pôles complémentaires que sont enseigner et apprendre.

L'action didactique est alors conçue comme nécessairement conjointe : pour enseigner, il faut au moins un apprenant et pour apprendre, il faut un système enseignant et c'est la circulation du savoir en classe qui distribue à chaque instant les rôles dans la relation : « la description et la compréhension de l'action didactique supposent de considérer celle-ci comme une action conjointe, fondée sur une communication dans la durée entre le professeur et les élèves, donc sur une relation qui actualise l'action, et qui est actualisée en retour par celle-ci » (Sensevy, 2007, p. 14).

Les savoirs ont donc un rôle central car ils *légitiment* et ils *conditionnent* la relation didactique. On pourrait ainsi dire que la légitimation de la relation didactique, c'est le processus par lequel le savoir donne sens et corps à cette relation.

C'est l'important point que développent Sensevy & Mercier (2007, p. 188) : « étudier les interactions didactiques – qui se développent dans le cadre de relations didactiques – en tant que pratiques de savoir, c'est aussi tenter de comprendre comment les savoirs donnent leur forme à des interactions, comment ces interactions tirent leur substance de la transmission des savoirs, et donc comment chaque transactant (pour adopter la perspective élaborée dans cet ouvrage), trouve (peut trouver, doit trouver) le moteur de son action dans le savoir qu'il inculque ou dans le savoir qu'il apprend ».

7.2.1.2 Quelques concepts fondamentaux pour décrire l'action didactique

7.2.1.2.1 Les transactions didactiques

Le savoir n'est par conséquent ni dans l'acte d'enseigner, ni dans l'acte d'apprendre puisque l'un suppose l'autre. Il est *en jeu entre* ces deux pôles.

Les contenus de savoir constituent en effet des objets interactionnels et transactionnels (Sensevy, 2007) car ils sont l'objet d'une communication entre enseignants et apprenants :

- ce sont des objets interactionnels car ils sont véhiculés par des interactions langagières entre l'enseignant et les élèves ;
- ce sont des objets transactionnels dans le sens où c'est par les savoirs que va se dégager la part que chaque pôle joue dans la relation : « si la description est centrée sur les savoirs tels qu'ils sont déployés dans les transactions, c'est parce qu'il est postulé que ce qui donne leur forme à ces transactions (« intrasubjectives » ou « mondaines »), ce sont leurs contenus, et que ces contenus sont des contenus de savoir, des contenus épistémiques » (Sensevy, 2007, p. 17).

7.2.1.2.2 Le contrat didactique

Le contrat didactique est un élément central de toute théorie didactique.

Cette notion a été conceptualisée par Brousseau (2003) et il la définit ainsi : « c'est l'ensemble des obligations réciproques et des « sanctions » que chaque partenaire de la *situation didactique*

- impose ou croit imposer, explicitement ou implicitement, aux autres

- et celles qu'on lui impose ou qu'il croit qu'on lui impose,

à propos de la connaissance en cause » (p. 5).

Il ajoute de plus que « ce système d'obligations réciproques ressemble à un contrat » (Brousseau, 1986, p. 51).

Ce système d'obligations a pour conséquences de se doubler d'un système d'attentes : l'enseignant (ou l'élève) attend que l'élève (ou l'enseignant) respecte sa part de contrat.

Pour simplifier, on peut dire que le contrat est un ensemble de règles, en partie implicites, qui fonde la relation didactique autour de la place que chaque pôle (enseignant / apprenant) attribue au savoir : les élèves attendent de l'enseignant l'enseignement d'un savoir et les enseignants attendent des élèves l'apprentissage d'un savoir : « on ne peut comprendre la relation didactique si l'on ne perçoit pas comment l'intention d'enseigner du professeur s'actualise en un certain nombre d'attentes » (Sensevy & Quilio, 2002, p. 50).

Le contrat, en constituant un système d'attentes réciproques, est ce qui régit les différentes transactions didactiques. En prenant le champ lexical du juridique, on peut dire que là où le savoir légitime la relation didactique, le contrat l'acte.

Sensevy (2007, p. 19) fait du contrat didactique un socle de la théorie de l'action didactique conjointe : « la notion de contrat didactique est ainsi essentielle au processus de description des transactions didactiques :

- elle fait comprendre le poids des habitudes d'action dans leur formation, et incite donc à considérer des habitudes de transaction ;
- elle fait comprendre comment les transactions didactiques reposent sur les attentes, de l'élève vers le professeur, mais aussi du professeur vers l'élève ;
- elle fournit un cadre à l'étude génétique de la constitution des normes dans la classe, et à la manière dont ces normes ont à être dépassées ou redéfinies dans la dialectique de l'ancien et du nouveau » (p. 19).

Toutefois cette notion de contrat est complexe et paradoxale.

Elle est nécessaire à la théorie pour décrire l'action didactique mais le contrat repose dès ses prémisses sur un double paradoxe.

- Un paradoxe pour l'enseignant : « tout ce qu'il entreprend pour faire produire par l'élève les comportements qu'il attend, tend à priver ce dernier des conditions nécessaires à la compréhension et à l'apprentissage de la notion visée : si le maître dit ce qu'il veut, il ne peut plus l'obtenir » (Brousseau 1986, p. 66).
- Un paradoxe pour l'élève : « s'il accepte que selon le contrat le maître lui enseigne les résultats, il ne les établit pas lui-même et donc il n'apprend pas de mathématiques, il ne se les approprie pas » (Brousseau, 1986, p. 66).

Ces paradoxes font dire à Brousseau (2003, p. 6) que « l'apprentissage va donc reposer, non pas sur le bon fonctionnement du contrat, mais sur ses *ruptures et ses ajustements* ».

Le contrat didactique institue ainsi un système de règles qui vise à l'apprentissage des élèves.

7.2.1.3 Écologie de l'action didactique : le milieu

Le contrat didactique n'est cependant pas unique dans la classe. Il est sans doute rare que des situations mettent en jeu un contrat unique entre un enseignant et une classe, lors d'une séance. On peut au contraire estimer en suivant la notion de contrat différentiel développée par Schubauer-Léoni (1986) que la relation didactique est constituée de plusieurs contrats didactiques, de différente importance, de différente temporalité et mettant en jeu différents acteurs. Ces différents contrats s'actualisent au sein de milieux didactiques.

Deux perspectives sont à distinguer dans la définition de milieu didactique, qui renvoient à deux théorisations différentes du milieu.

- La première acception fait référence à l'environnement cognitif commun, c'est donc un arrière plan de significations communes sans laquelle aucune communication n'est possible (Sensevy, 2007).

Cette perspective est compatible avec la définition institutionnelle du milieu didactique (Amade-Escot & Venturini, 2009) décrite par la théorie anthropologique du didactique (Chevallard, 1996).

Chevallard (1996) définit le milieu comme l'ensemble des objets institutionnels de la situation avec lesquels le sujet entretient des rapports institutionnels stables, en l'absence desquels la relation didactique ne pourrait s'établir. Le milieu est alors l'ensemble des objets de la situation qui sont pour le sujet d'une institution « comme allant de soi, transparents, non problématiques » (Chevallard, 1996, p. 165).

La position tenue dans ce cas considère que l'apprentissage se fait par un changement dans le rapport qu'entretient un individu avec ce savoir : « le rapport personnel de x à un objet o change – ou se crée s'il n'existait pas encore – par l'entrée de x dans certaines œuvres O dont l'objet o est constitutif, et qui vivent en certaines institutions I où x vient occuper une certaine position p . (...) D'une manière générale, c'est par ses assujettissements, par le fait qu'il est le sujet d'une multitude d'institutions, que l'individu x se constitue en une personne » (Chevallard, 2003, p. 83).

- La deuxième acception est issue du travail de Brousseau en didactique des mathématiques. Selon Brousseau (2003, p. 3), « le *milieu* est le système antagoniste de l'actant. Dans une situation d'action, on appelle "milieu" tout ce qui agit sur l'élève ou / et ce sur quoi l'élève agit ».

Le milieu fait alors référence aux ressources et contraintes qui orientent les transactions.

On retrouve dans les travaux de Brousseau et de Sensevy une perspective d'inspiration constructiviste dans laquelle l'apprentissage est vu comme adaptation⁶⁹ à un milieu :

⁶⁹ Le terme « adaptation » est problématique (Orange, 2007) pour ceux qui s'intéressent au néodarwinisme car il renvoie à une position dite adaptationniste, courante chez les biologistes, qui consiste à réduire le principe explicatif du mécanisme de sélection naturelle à l'adaptation. Selon Varela, Thompson et Rosch (1993), les contraintes sélectives de survie et de reproduction ne suffisent pas à expliquer tous les phénomènes de l'évolution. Ils proposent alors une autre perspective, en concevant l'évolution non plus par sélection mais par « dérive » : « le « problème » de l'évolution n'est plus ici de savoir comment imposer une trajectoire précise au moyen des exigences d'une valeur adaptative optimale ; il consiste à savoir comment élaguer la multiplicité des trajectoires viables existant en tout point donné. » (p. 265) Pour la théorie de l'« évolution par dérive naturelle », l'unité d'évolution, à un niveau quelconque, est animée de nombreuses configurations auto-organisatrices. Par couplage structurel avec le milieu, une sélection va filtrer les configurations viables. Cette sélection non-spécifique va opérer à tous les niveaux d'organisation et le changement (non optimal) sera juste le résultat émergent de réseaux auto-organisés viables. Selon cette théorie, l'organisme et l'environnement se déterminent l'un l'autre et l'histoire d'un organisme est en fait l'histoire conjointe de l'organisme et du milieu. L'adaptation n'est alors plus vue comme la solution optimale que trouve un organisme à un problème posé par l'environnement. L'adaptation doit être redéfinie dans le lien qui unit symétriquement l'environnement et l'organisme et non dans la relation univoque d'une pression de

« la conception moderne de l'enseignement va donc demander au maître de provoquer chez l'élève les adaptations souhaitées, par un choix judicieux, des « problèmes » qu'il lui propose. Ces problèmes, choisis de façon à ce que l'élève puisse les accepter doivent le faire agir, parler, réfléchir, évoluer de son propre mouvement. Entre le moment où l'élève accepte le problème comme sien et celui où il propose sa réponse, le maître se refuse à intervenir comme proposeur des connaissances qu'il veut voir apparaître » (Brousseau, 1986, p. 49).

De même Sensevy (2002, p. 25) écrit que « la conception de l'action que je défends est une conception adaptationniste : agir, c'est s'adapter à un environnement. Pour décrire cet environnement, on peut alors disposer de deux notions, celle de situation et celle d'institution. Je suppose donc que l'action se produit à l'intérieur d'une situation donnée, et décrire l'action, ce sera décrire l'action de la personne à l'intérieur de cette situation, situation qui devra être prise comme objet de la description ».

Ces deux théorisations du milieu convergent sur un certain nombre de points selon Amade-Escot & Venturini (2009).

- C'est le travail conjoint des enseignants et des élèves qui génère le milieu didactique : ceci correspond à la *mésogénèse*.
- « Le milieu didactique résulte aussi d'un processus évolutif qui s'appuie sur des aspects institutionnels en liens avec des usages, des habitudes, des formes de travail plus ou moins légitimés (Amade-Escot & Venturini, 2009, p. 26).

La mésogénèse est en effet liée au résultat de l'assujettissement des acteurs à différentes institutions : « le fonctionnement d'un système didactique fait « bouger » le milieu : c'est même pour cela, peut-on dire, que les systèmes didactiques existent ! Certains des éléments du milieu vont être déstabilisés et cesseront momentanément d'appartenir au milieu, avant de s'y restabiliser ensuite, dans une organisation économiquement et écologiquement différente (...) A chaque instant, le milieu apparaît subjectivement comme un donné ; mais c'est en vérité un construit permanent » (Chevallard, 1996, pp. 173-174).

La situation prend sens dans une institution donnée qui indique les règles à suivre, ainsi que leur justification, etc. : « comprendre et expliquer une action donnée, c'est donc la décrire comme le fruit d'une adaptation à une situation donnée. Par exemple, l'élève qui apprend le fait dans telle situation préparée par le professeur, mais cette adaptation à cette situation s'élabore aussi au sein d'une institution-classe déterminée qui pèse sur « l'interprétation » que peut faire l'élève de la situation, qui pèse donc sur son action » (Sensevy, 2002, p. 26).

- La notion est plurielle (Amade-Escot & Venturini, 2009, p. 24) car le processus mésogénétique conduit, à travers les interactions langagières, à une multiplicité de milieux (et donc de contrats) : « le « milieu de l'enseignant » ne recoupe que partiellement celui de chacun des élèves ce qui a des conséquences sur leurs trajectoires ou leurs biographies didactiques ».

Le rôle de l'enseignant est ainsi d'« aménager le milieu, c'est [-à-dire] contraindre l'action (matérielle ou intellectuelle) de l'élève dans un sens déterminé » (Sensevy, 2002, p. 30) pour qu'il prenne en compte les rétroactions du milieu et qu'il s'y adapte.

l'environnement sur l'organisme.

Autrement dit, l'organisme n'est autonome que parce qu'il dépend (en fait il s'agit d'interdépendance) de sa relation avec le milieu extérieur. Ces quelques considérations de biologie nous semblent intéressantes pour comprendre la sémantique du mot adaptation et par là le lien entre l'élève et le milieu didactique : mais y a-t-il un sens alors à parler de connaissances optimales liées à une situation ?

7.2.1.4 Des opérateurs pour décrire l'action

Le milieu est par nature instable et sujet au changement puisque c'est une co-construction. La question d'une échelle d'analyse pertinente se pose donc.

Comment change le milieu ? Et quand change-t-il ? sont les deux questions qui guident la recherche de cette échelle.

La recherche des sources de modification du milieu nécessite ainsi une analyse d'ordre topogénétique et chronogénétique : « la solidarité des notions de milieu et contrat s'exprime par le fait qu'à tout état de la mésogénèse, correspond un état du partage des responsabilités entre le professeur et les différents élèves (topogénèse) en lien avec l'avancée ou la stagnation du temps didactique (chronogénèse) eux-mêmes dépendant des cadres épistémique (relatif au savoir en jeu) et interactionnel (forme des échanges) qui en structure la dynamique. Le travail scientifique consiste alors nous semble-t-il à identifier des configurations (c'est-à-dire des organisations singulières de formes régulières) permettant de rendre compte du fonctionnement du système » (Amade-Escot & Venturini, 2009, p. 29).

7.2.1.4.1 La chronogénèse

Ce concept aborde la temporalité de la relation didactique.

Tout enseignement est progressif et se fait dans le temps : il y a donc une genèse du temps didactique (chronogénèse) associée à la mésogénèse.

La chronogénèse de l'enseignement ne correspond pas nécessairement au temps de l'apprentissage des élèves mais cette notion donne un appui méthodologique pour repérer les actions de l'enseignant qui font accélérer ou bien ralentissent le temps didactique. C'est donc un indicateur de la mésogénèse.

7.2.1.4.2 La topogénèse

Chevallard (1991, pp. 74-75) décrit l'importance du concept de topogénèse : « non seulement l'enseignant, supposé savoir et supposé anticiper, doit montrer qu'il peut conduire la chronogénèse didactique, affirmant ainsi son pouvoir dans la diachronie, mais encore il va, en synchronie, affirmer le caractère singulier de sa place propre dans la construction du savoir : non content de savoir plus (...) il sait autrement ».

Comme dans le cas de la chronogénèse, cette notion aide à repérer les places respectives qu'occupent l'enseignant et les élèves face au savoir.

L'enseignant en faisant cours magistral ou en laissant s'exprimer les élèves n'occupe pas la même place vis à vis du savoir. Par conséquent, la topogénèse contraint fortement la mésogénèse.

7.2.1.4.3 L'action décrite par un triplet d'opérateurs

La mésogénèse, la chronogénèse et la topogénèse sont indissociables et agissent les unes sur les autres.

Ces trois concepts s'articulent de manière complexe⁷⁰, c'est-à-dire sont fortement interconnectés mais dans le même temps sont conçus comme indépendants.

Sensevy (2007, p. 32) résume bien la nécessaire articulation des trois opérateurs : « elles doivent également pouvoir être considérées en relation l'une avec l'autre, au sein du triplet. Pour donner une ébauche de ce système de description, on pourrait ainsi caractériser les 3 « genèses » comme suit : la mésogénèse pose la question *quoi* ? Ou plus précisément *comment quoi* ? Elle incite à identifier le contenu épistémique précis des transactions didactiques. La chronogénèse pose la question *quand* ? Plus précisément *Comment quand* ? Elle incite à identifier la nature et les raisons du passage, à un certain moment, d'un contenu épistémique à un autre. La topogénèse pose la question *qui* ? Plus précisément *comment qui* ? Elle incite à identifier comment le contenu épistémique de la transaction est effectivement réparti entre les transactants ».

7.2.2. Le modèle de l'action du professeur selon la TACD

L'action du professeur est conçue comme finalisée : elle a pour intention de construire le milieu avec et pour les élèves. Elle consiste donc à négocier et à maintenir un contrat didactique.

Sensevy & Quilio (2002, p. 49) écrivent en effet que : « nous postulons tout d'abord que le travail du professeur consiste pour l'essentiel à initier et à maintenir la relation didactique ».

Sensevy (2007) poursuit les travaux de Brousseau (1986) et prolonge le modèle du jeu pour rendre compte de l'action du professeur. Les activités que le professeur propose aux élèves peuvent être en effet décrites comme des jeux d'apprentissages qui s'enchaîneraient.

Nous développons ici la notion de « jeu didactique » (7.2.2.1).

L'action didactique se modélise dans le cadre de ce modèle en trois grandes strates :

- faire jouer le jeu aux élèves (7.2.2.2) ;
- construire le jeu (7.2.2.3) ;
- les déterminations du jeu (7.2.2.4).

7.2.2.1 Le jeu didactique

Nous partons ici de la réflexion de Sensevy (2007, p. 19) : « la notion de jeu peut fournir un modèle pertinent pour mettre en évidence certains aspects du monde social et de l'activité humaine. Le modèle du jeu présente notamment le mérite de souligner les aspects affectifs de l'action (l'investissement dans le jeu) et ses aspects effectifs, pragmatiques (quand et comment gagne-t-on ?) ».

Nous retenons plusieurs éléments de ce discours sur le jeu :

- le jeu est un modèle

Sensevy (2007) s'inscrit dans le prolongement des travaux de Brousseau (1986), qui modélise une situation d'enseignement par un jeu spécifique. Toutefois, Sensevy (2007) ancre la notion de jeu didactique dans une acception plus large puisque le jeu est ici un modèle permettant de rendre compte de certaines propriétés des pratiques sociales. En ce sens, le jeu est un

⁷⁰ Au sens de Morin (1990, p. 21) : « Qu'est-ce que la complexité ? Au premier abord, la complexité est un tissu de constituants hétérogènes inséparablement associés : elle pose le paradoxe de l'un et du multiple ».

instrument épistémologique, permettant de décrire et comprendre le fonctionnement de pratiques sociales (dont les situations d'enseignement / apprentissage). On retrouve ici un héritage des travaux de Bourdieu (1984), qui utilise le jeu en tant que métaphore du champ social⁷¹.

Le « mérite » de ce modèle est alors de mettre en perspective deux « aspects » de l'action didactique, en tant que pratique sociale.

- il y a des aspects représentatifs dans le jeu / l'action didactique

En effet, le jeu suppose que les joueurs se mettent en scène ou en représentation. Nous avons vu que l'action conjointe se fonde sur la distribution d'un rôle d'enseignant et d'apprenant, que cette distribution est négociée dans le contrat didactique. S'investir dans le jeu, c'est donc accepter de jouer un rôle dans l'action conjointe.

- il y a des aspects stratégiques dans le jeu / l'action didactique

En effet, chaque joueur s'impose une tâche et cherche à atteindre un but : gagner le jeu. De la même façon, l'enseignant gagne quand les élèves gagnent en produisant une stratégie adéquate.

Ces deux aspects sont toutefois liés dans le milieu : le milieu est ce sur quoi (participation au milieu) et ce avec quoi ou contre quoi (résistance du milieu) agissent les acteurs.

L'intérêt du modèle du jeu réside également dans les règles du jeu qui régissent en partie les deux aspects précédents. En effet, le jeu est gouverné par des règles mais ces dernières ne déterminent pas pour autant tout ce qui se passe dans le jeu. On retrouve ici l'importante contribution de Wittgenstein à la réflexion sur le jeu et la grammaire des règles. Nous développerons plus loin ce point (voir 8.3, p. 123).

Par conséquent, à la suite de Sensevy, nous définissons le jeu didactique comme un modèle heuristique de l'action didactique, permettant de décrire et comprendre la nécessaire tension entre les aspects représentatifs et stratégiques de l'action conjointe qui animent le milieu, liée aux paradoxes du contrat didactique. Le jeu didactique est alors composé de jeux d'apprentissage qui correspondent à des enjeux de savoirs différents et qui donnent lieu à une action conjointe.

7.2.2.2 Faire jouer le jeu

Pour faire jouer le jeu, l'enseignant doit définir les règles du jeu, faire en sorte que les joueurs jouent (dévolution) et réguler les interactions entre les joueurs : l'enseignant a alors un rôle analogue à un arbitre, ou mieux à un maître de jeu (comme dans les jeux de rôle). Le jeu n'est pas légitimé pour lui même mais pour l'intention didactique sous-jacente à l'enseignement d'un savoir : il y a alors une phase d'institutionnalisation où les connaissances développées pendant le jeu (stratégies, tactiques) sont institutionnalisés en termes de savoirs participant à une culture commune.

Développons brièvement les 4 éléments structuraux de la relation didactique (techniques didactiques qui correspondent à différentes scènes du jeu) :

- Définir : « ce terme signifie que le travail du professeur consiste (d'abord) à poser un certain nombre d'objets et à établir le cadre d'une situation » (Sensevy, Mercier & Schubauer-Leoni, 2000, p. 268). Il s'agit alors pour l'enseignant de définir les règles constitutives du jeu proposé : « agencer le milieu, c'est donc bien, pour le professeur, jouer sur la définition du jeu de l'élève par l'élève. Il s'agit de faire en sorte, par la production d'un discours approprié, que l'élève se rende capable de jouer le bon jeu,

⁷¹ Par analogie, on peut dire que le milieu didactique est un champ social particulier où le savoir enseigné représente un capital symbolique, à partager entre les différents acteurs.

c'est-à-dire d'effectuer les bonnes actions dans le bon milieu » (Sensevy & Quilio, 2002, pp. 52-53).

- Dévoluer : Sensevy, Mercier & Schubauer-Leoni (2000, p. 270) définissent la dévolution comme le fait pour les élèves d'assumer la situation proposée et de s'y engager : « de manière quasi simultanée à la définition et à la régulation, le professeur doit faire en sorte que les élèves prennent la responsabilité de « jouer le jeu », de s'engager dans l'activité proposée ».
- Réguler : Sensevy, Mercier & Schubauer-Leoni (2000, p. 269) définissent de même la régulation opérée par l'enseignant en cours d'action : « ce que nous désignons par régulation concerne donc les comportements que le professeur produit en vue d'amener l'élève à élaborer des stratégies gagnantes ». Dans son action de régulation, l'enseignant joue sur la répartition des tâches enseignant / élèves (latitude topogénétique). Il peut prendre en main l'avancée du savoir ou bien laisser l'initiative aux élèves. Il peut alors référer et indiquer des éléments de règles stratégiques : il construit alors en coopération avec les élèves la situation qu'il a commencé à définir, c'est l'aménagement progressif du milieu, qui s'accompagne d'une réduction de l'incertitude vis à vis de l'action demandée.
- Instituer : Sensevy, Mercier & Schubauer-Leoni (2000, p. 271) voient la phase d'institutionnalisation « comme une dimension fondamentale d'un travail de production d'institution : le professeur et les élèves s'instituent comme collectif de pensée comptable de leur production de savoir et ils s'autorisent à évaluer cette production. Ils identifient des manières de faire, que l'institution qu'ils forment reconnaît comme légitimes : ce faisant ils produisent une institution fondée à valider les manières de faire, dont les élèves et le professeur sont ensemble les sujets ». Sensevy & Quilio (2002, p. 51) considèrent l'institutionnalisation comme le « processus par lequel le professeur montre aux élèves que les connaissances qu'ils ont construites se trouvent déjà dans la culture (d'une discipline), et par lequel il les invite à se rendre responsables de savoir ces connaissances ».

Lors de cette phase, l'intention didactique se dévoile : les connaissances mobilisées par les élèves peuvent se traduire en savoirs. Les élèves se trouvent ainsi en position de partager une culture commune : celle construite dans la classe, qui fait corps avec la socioculture à laquelle ils appartiennent.

Faire jouer le jeu est ainsi une mise en scène des trois opérateurs mésogénèse, chronogénèse et topogénèse suivant 4 modalités qui structurent les transactions didactiques.

7.2.2.3 Construire le jeu

Il s'agit ici de s'intéresser au savoir enseigné d'un point de vue épistémique et épistémologique (Sensevy, 2007). La double question posée est alors : Quel est le jeu proposé aux élèves ? Quelle est l'intention didactique du jeu proposé ?

Pour Sensevy (2007, p. 35), « le jeu didactique, s'il possède une grande part de contingence dans le fonctionnement in situ, reçoit son architecture fondamentale hors de la classe, dans la préparation des activités ».

L'objectif du chercheur est ainsi d'analyser en amont le travail de l'enseignant dans sa construction du jeu.

Sensevy (2007) conçoit alors deux types de descripteurs de la construction du jeu :

- le premier descripteur est une analyse épistémique : il consiste ainsi en une description du contenu de savoir de l'enseignement prévu à travers les tâches proposées aux élèves, les objectifs d'apprentissage, le temps passé à chaque activité, etc.

- le deuxième descripteur est une analyse épistémologique : il concerne le « rapport spécifique que le professeur entretient aux objets de savoir cristallisés dans les tâches qui médiatisent sa relation aux élèves, et qui dessinent la forme des transactions » (p. 36). Ce descripteur consiste à dégager l'épistémologie (au sens francophone) du savoir à enseigner que l'enseignant connaît. D'après Sensevy (2007, p. 36), « cette connaissance conceptuelle, fruit d'une étude préalable, loin de rester cantonnée, dans certains cas, au « privé » du professeur, peut lui permettre de réguler l'activité des élèves de manière pertinente ».

7.2.2.4 Les déterminations du jeu

La question sous-jacente posée à l'action enseignante est dans ce cas : pourquoi le jeu est-il joué de cette manière ?

Sensevy (2007) développe deux types de contraintes qui vont déterminer le jeu.

- La première dimension de ces déterminations concerne des contraintes institutionnelles qui pèsent sur le jeu. En effet, la perspective anthropologique est intéressante car elle donne les outils pour considérer l'action en classe comme contrainte par divers assujettissements à des institutions (au sens de Chevallard) telles que collectifs d'enseignants, prescriptions institutionnelles, poids de la hiérarchie ou d'autres étrangères à l'institution scolaire (mass-média par exemple).
- La deuxième dimension de ces déterminations est ce que Sensevy (2007, p. 37) appelle les « soubassements épistémologiques de l'action professorale ». Il s'agit ici d'une généralisation de l'épistémologie liée aux tâches données aux élèves, avec le sens anglo-saxon du terme : elle met en jeu, non plus une épistémologie liée à des savoirs particuliers, mais une épistémologie de l'ensemble de ces savoirs liés à une discipline. En ce sens, elle est « théorie de la connaissance ». En effet, Sensevy (2007, p. 37) n'hésite pas à lier à cette épistémologie une conception sur l'apprentissage : « elle est aussi adressée, en tant qu'épistémologie des transactions didactiques, charriant ainsi une conception de ce qu'est l'apprentissage, de ce que peuvent être les difficultés d'apprentissage, de ce que peuvent signifier les différences entre élèves, etc. ».

Nous avons par ailleurs vu que l'apprentissage et l'enseignement des controverses socioscientifiques interrogent d'un point de vue épistémologique les conceptions qu'ont les apprenants et les enseignants de l'activité scientifique (voir 3.1.3, p. 42). Il nous semble donc important de préciser ce « soubassement épistémologique de l'action professorale », puisqu'il est considéré comme un déterminant du jeu didactique dans la TACD.

7.3 Épistémologie de l'enseignant et pratique d'enseignement : l'épistémologie pratique

Nous clarifions donc tout d'abord la notion d' « épistémologie pratique », développée dans le cadre de la TACD (7.3.1), puis la complétons avec d'autres études concernant le rôle des conceptions épistémologiques des enseignants dans la pratique (7.3.2). Enfin, nous définissons l'épistémologie pratique telle que nous l'utiliserons dans la suite de notre propos (7.3.3).

7.3.1 L'épistémologie pratique dans la TACD

Nous avons largement suivi Sensevy (2007) dans le modèle de l'action du professeur et nous retrouvons encore une fois l'héritage de Brousseau dans la notion qu'il développe d'*épistémologie pratique*.

Brousseau (1986, p. 56) parle ainsi d'épistémologie du professeur à usage professionnel qu'il situe comme permettant de résoudre les conflits du contrat didactique en réorganisant et transformant les connaissances dans le cadre scolaire : « le professeur est alors conduit à expliciter auprès de l'élève une méthode de production de la réponse : comment répondre à l'aide des connaissances antérieures, comment comprendre, construire une connaissance nouvelle, comment appliquer les leçons antérieures, comment apprendre, deviner, résoudre, etc. Il se réfère ainsi à un fonctionnement implicite des mathématiques ou à un modèle construit pour l'usage qui en est fait : résoudre les conflits du contrat didactique.

Cette « épistémologie du professeur (à usage professionnel) doit aussi être en fait celle de l'élève et de ses parents. Elle doit être présente dans la culture pour permettre aux justifications de fonctionner et d'être reçues. Le professeur n'est pas libre de la changer à sa guise ».

On retrouve aussi par conséquent l'idée que cette épistémologie intervient dans les déterminations de l'action du professeur. Sa mise en évidence paraît alors primordiale pour éclairer cette action.

Sensevy préfère l'adjectif « pratique » à « professionnel », ce qu'il justifie ainsi : « pour préciser, notons un aspect essentiel : cette épistémologie, en partie spontanée, en partie implicite, intéresse ici le chercheur avant tout parce qu'elle est pratique. Cela signifie plusieurs choses : elle est pratique parce qu'elle a des conséquences pratiques, elle est directement ou indirectement agissante dans le fonctionnement de la classe ; elle est pratique car elle est produite en grande partie par la pratique, dans la confrontation aux causalités que le professeur pense identifier dans celles-ci, et dans les habitudes de perception et d'actions cristallisées dans les tâches au moyen desquelles il enseigne ; elle est pratique parce que, même si elle est en grande partie non intentionnelle, elle est produite pour la pratique, comme réponse générique aux multiples problèmes qu'elle révèle » (pp. 37-38).

L'épistémologie du professeur « est d'abord une théorie plus ou moins implicite de la connaissance (des savoirs enseignés), de son sens, de son usage, des relations que telle connaissance entretient avec telle autre. (...) elle est aussi adressée, en tant qu'épistémologie des transactions didactiques, charriant aussi une conception de ce qu'est l'apprentissage, de ce que peuvent être les difficultés d'apprentissage, de ce que peuvent signifier les différences entre élèves, etc. » (Sensevy, 2007, p. 37). Autrement dit, l'épistémologie pratique de l'enseignant est définie dans la TACD comme une théorie de la connaissance des savoirs enseignés et une théorie de leur enseignement / apprentissage, qui s'actualisent dans la pratique.

7.3.2 Théorie de la connaissance des savoirs scientifiques et pratique d'enseignement : l'apport des recherches sur la Nature Of Science (NOS)

La notion d' «épistémologie pratique » est intéressante mais faiblement théorisée. C'est pourquoi nous nous tournons dans cette partie vers d'autres études pour approfondir la dimension « théorie de la connaissance des enseignants (relatifs aux savoirs enseignés) » de l'épistémologie pratique. Nous mobilisons ainsi les travaux sur les conceptions épistémologiques des enseignants (7.3.2.1), ainsi que les recherches issues du courant anglo-saxon de la Nature Of Science – NOS (7.3.2.2).

7.3.2.1 Les conceptions épistémologiques des enseignants

De nombreuses recherches se sont intéressées aux conceptions épistémologiques des enseignants en utilisant des questionnaires et/ou plus récemment des entretiens (Brickhouse, 1990 ; Lederman, 1992 ; Désautels, Larochelle, Gagné, Ruel, 1993 ; Lakin & Wellington, 1994 ; Hashweh, 1996 ; Roletto, 1998 ; Porlan Ariza, Garcia Garcia & Martin del Pozo, 1998 ; Albe & Ruel, 2006b ; Lederman, 2007). Elles montrent que majoritairement les enseignants ont des conceptions :

- empiristes : les faits issus de l'observation sont considérés comme fondamentaux et premiers par rapport aux théories ;
- inductivistes : les théories sont construites comme une généralisation logique des faits particuliers observés ;
- réalistes naïfs : les objets de la science sont découverts par les scientifiques. Ces objets préexistent donc dans le monde ;
- positivistes : il existe une méthode scientifique universelle qui permet d'aboutir à des savoirs scientifiques vrais. Il s'agit de la méthode que Giordan (1978) nomme sous l'acronyme OHERIC (Observation, Hypothèse, Expérimentation, Résultat, Interprétation, Conclusion).

De plus, les enseignants n'accordent que peu d'importance aux dimensions sociales et subjectives⁷² de l'activité scientifique dans leurs conceptions épistémologiques de la science. Cependant, bien que ces traits dominent chez la majorité des sujets dont les conceptions sont étudiées, les conceptions ne sont pas forcément homogènes : «une partie importante des sujets sont donc porteurs d'un mélange hétérogène, on pourrait dire un *patchwork* d'épistémologies, au sein duquel le statut des connaissances scientifiques n'est pas bien défini, car elles sont à la fois vraies, objectives, prouvées, subjectives et évolutives » (Roletto, 1998, p. 27).

Lakin & Wellington (1994) expliquent cette hétérogénéité avant tout par le peu de connaissances en épistémologie et en histoire des sciences des enseignants.

Un parallèle est de plus fait entre les conceptions épistémologiques des enseignants et celles des élèves (Désautels, Larochelle, Gagné, Ruel, 1993 ; Lederman, 2007), si bien que l'idée que les conceptions épistémologiques jouent un rôle dans l'enseignement s'est développée dans les recherches.

⁷² On pense en particulier au rôle de l'imagination que nécessite l'activité scientifique.

7.3.2.2 Quels liens entre conceptions des enseignants sur la NOS, des apprenants et pratique de classe ?

Le courant de recherche sur la « Nature of Science »⁷³ (NOS) enquête sur le lien entre les conceptions épistémologiques des enseignants, leur enseignement et les conceptions épistémologiques des élèves.

Plusieurs modèles ont été établis pour comprendre la manière dont les conceptions épistémologiques interviennent dans la classe. Si les premières hypothèses s'articulaient autour de l'idée que les conceptions épistémologiques de l'enseignant influencent directement celles de l'élève à travers la pratique de classe, des éléments ont été ensuite ajoutés à ce modèle pour qu'il rende plus intelligible les résultats des recherches : il existe des contraintes qui font obstacle au *transfert* des conceptions épistémologiques de l'enseignant vers l'élève (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000 ; Lederman, 2007). Toutefois, ce modèle est jugé trop simpliste par certains chercheurs qui mettent en cause la causalité du modèle : ils proposent alors un modèle complexe.

Nott & Wellington (1996)⁷⁴ concluent par exemple de leurs recherches que « les connaissances des enseignants sur la NOS peuvent être autant formées par leur enseignement que leur enseignement informé par leurs connaissances » (cité par Waters-Adams, 2006, p. 921). L'idée développée par ces deux chercheurs est ainsi que le modèle de la transmission de conceptions est trop simple car la rétroaction entre connaissances épistémologiques et enseignement n'a pas été pris en compte dans le modèle du transfert.

Les réponses des apprenants aux pratiques d'instruction peuvent aussi modifier les croyances des enseignants sur l'enseignement et l'apprentissage de la science (Sweeney, Bula & Cornett⁷⁵, 2001, cité par Jones & Carter, 2007).

Tsaï (2002) étudie par entretiens, dans ce cadre, les liens entre les croyances des enseignants concernant l'enseignement, l'apprentissage et la science. Dans cette recherche, la majorité des croyances des enseignants sont « traditionnelles ». Il note de plus des corrélations dans l'alignement de ces croyances : pour plus de la moitié, « their beliefs about teaching, learning and science could be viewed as a whole, while one belief system was highly related to another » (p. 777). Les résultats montrent de plus que les croyances sont d'autant plus cohérentes entre elles que les enseignants sont expérimentés.

Tsaï s'éloigne par conséquent du modèle linéaire en concluant son article sur l'enchevêtrement des croyances sur la NOS, l'enseignement et l'apprentissage qu'il qualifie de « nested epistemologies »: « these beliefs are viewed as 'nested epistemologies'. Changing teachers' beliefs of teaching and learning science may be a prerequisite of changing their beliefs about science, or vice versa ; changing teachers' beliefs about the nature of science may be a prerequisite of changing their beliefs about teaching and learning science » (p. 780).

La recherche-action de Waters-Adams (2006) remet en cause également le modèle de la transmission de conceptions. Il observe quatre enseignants pendant seize mois, avec des

⁷³ Les recherches sur la « Nature Of Science » (NOS) constituent un domaine actif de la recherche anglo-saxonne en éducation aux sciences. Les recherches sont même d'autant plus actives que l'état fédéral américain a fait de la NOS une des huit catégories de contenus enseignés dans son programme d'éducation à la science pour les K-12 (National Research Council, 1996). Lederman (2007, p. 833) définit la NOS en tant qu'elle « typically refers to the epistemology of science, science as a way of knowing, or the values and beliefs inherent to scientific knowledge and its development (Lederman, 1992) ».

⁷⁴ Nott, M., & Wellington, J. (1996). Probing teachers' views of the nature of science: How should we do it and where should we be looking? In G. Welford, J. Osborne, & P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe*. London: Falmer.

⁷⁵ Sweeney, A.E., Bula, O.A., & Cornett, J.W. (2001). The role of personal practice theories in the professional development of a beginning high school chemistry teacher. *Journal of Research in Science Teaching*, 13, 441-447.

entretiens réguliers. Il remarque tout d'abord un décalage entre les analyses d'entretiens et les observations qu'il fait : « a central contention of this paper is that teachers may hold two conceptions of nature of science at the same time : one espoused and one tacit within their practice » (p. 927). A la fin de la recherche, Waters-Adams (2006, p. 930) note que les croyances des enseignants suivis ont évolué : « change did not occur because a simple clarification of the teachers' espoused ideas about science led to an understanding of how these should influence their practice. A complex relationship developed between three key elements: the teachers' espoused ideas about the nature of science, the approaches they adopted within their science teaching, and their beliefs about the kind of pedagogy that supported their understanding of both how curriculum should be structured and what was appropriate for encouraging young children's learning ».

Selon Waters-Adams (2006), ce qui a évolué durant la recherche-action est la cohérence chez les enseignants dans l'intrication complexe de leurs croyances sur la NOS, sur l'enseignement et sur l'apprentissage. Cette conclusion lui permet de remettre en question la simplicité du modèle de transmission de conceptions : « the evidence of this inquiry suggests that a simple direct link does not exist between teachers' understanding of nature of science and practice. The appearance in teachers' practice of apparent influence from their understanding of science cannot be understood without consideration of their wider beliefs about teaching, learning, and the curriculum » (p. 937).

Les critiques de Waters-Adams (2006, p. 921) se portent sur la notion même de transfert (ou « translation ») dont la sémantique indique que le cadre linéaire de cause – effet reste inchangé : « if [the constraints] were not there, teachers' actions would be influenced in a straightforward and predictable way by their theoretical thinking ».

Le modèle qu'il propose est cohérent avec celui de « nested epistemologies » de Tsai (2002) : « understanding of NOS, goals for science teaching, and wider beliefs about learning and teaching are locked together in a lived dialectical reality in which all elements relate to each other and in which the wider beliefs are probably dominant » (Waters-Adams, 1996, p. 938).

7.3.3 L'épistémologie pratique de l'enseignant de physique

Nous appuyons notre propos sur des articles écrits en anglais et en français et le mot « épistémologie » (ou « epistemology ») n'y a pas le même sens. Nous souhaitons ainsi dans ce paragraphe clarifier les termes et définir l'usage que nous en ferons.

Si en anglais, « epistemology » est défini comme théorie de la connaissance, dans le sens de théorie de la nature de la connaissance, de ses fondements et de la manière de les acquérir, le mot français « épistémologie » est réservé au champ des sciences, en tant qu'analyse des objets et des méthodes scientifiques, et plus récemment analyse sociale de leurs fonctionnements.

Nous emploierons dans la suite de notre travail l'expression « épistémologie pratique de l'enseignant »⁷⁶ pour désigner l'intrication des théories plus ou moins implicites de l'enseignant sur les savoirs scientifiques et sur les sciences, sur leur apprentissage et leur enseignement telles qu'elles s'actualisent dans la pratique. Nous préférons utiliser un singulier

⁷⁶ L'emploi du terme « épistémologie » que nous faisons est à distinguer de l'expression « épistémologie personnelle », développée par un important courant de psychologie cognitive. C'est « un champ de recherche qui s'intéresse aux croyances et aux théories que les individus développent à propos des connaissances et de leur acquisition » (Crahay & Fagnant, 2007, p. 80). L'objet d'étude est dans ce cas le raisonnement critique qu'un sujet élabore sur son apprentissage.

plutôt que le pluriel utilisé par Tsai (2002) ou par Jones & Carter (2007) afin de mettre l'accent sur l'unité d'un complexe de théories et de la rendre cohérente avec le terme de la TACD. Cette expression se situe par conséquent entre l'usage anglais du mot « épistémologie », puisqu'elle intègre une théorie implicite de la connaissance (comment apprendre / enseigner ces savoirs pour qu'ils deviennent des connaissances ? Que veut dire connaître en sciences ? etc.), et l'usage français, puisque les objets de savoir sont les savoirs scientifiques, dans les contenus (objets et méthodes) comme dans l'activité sociale qui les produit.

Nous sommes conscients que l'épistémologie pratique de l'enseignant telle que nous la définissons est un déterminant parmi d'autres de l'action de l'enseignant : d'autres éléments jouent un rôle aussi bien dans la sphère personnelle (par exemple la motivation, les attitudes, le sentiment d'efficacité personnelle) qu'environnementales (par exemple le contexte socioculturel, les contraintes locales). Notre travail consiste ainsi à s'intéresser exclusivement à ce déterminant lié à la dimension didactique de la pratique enseignante.

Résumé du chapitre 7

Les recherches sur l' « effet-maître » s'ancrent dans des débats contemporains sur l'action. En effet, les cadres du cognitivisme, de l'action et la cognition situées et du socioconstructivisme fournissent des repères différents pour conceptualiser et analyser les pratiques enseignantes.

Nous plaçons notre travail dans les cadres de l'action et de la cognition situées et du socioconstructivisme.

La théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) nous donne un cadre théorique pour décrire l'action enseignante. Ses fondements reposent sur l'idée que la pratique est une action conjointe enseignant-élèves, dont les règles de communication sont régies par le contrat didactique. Cette action se déploie dans un milieu didactique dont l'évolution peut être décrite par trois opérateurs (mésogénèse, chronogénèse et topogénèse).

Un modèle de l'action enseignante est de plus proposé dans la TACD : c'est le jeu didactique. Nous nous intéressons à l'épistémologie pratique de l'enseignant, que nous avons définie, en nous appuyant sur le cadre de la TACD et les travaux sur la NOS, comme intrication de théories plus ou moins implicites sur les savoirs scientifiques et sur les sciences, sur leur apprentissage et leur enseignement telles qu'elles s'actualisent dans la pratique. L'intrication des théories fait que cette épistémologie pratique détermine les pratiques autant qu'elle est déterminée par les pratiques.

Si la TACD nous fournit un cadre théorique intéressant pour analyser les pratiques enseignantes, un élément important reste obscur : comment cette action conjointe s'exprime-t-elle ? Comment se réalise-t-elle ?

Nous avons vu que cette action se déroule dans le déploiement d'un milieu didactique : comment une action du monde matériel se réalise-t-elle en même temps dans le monde symbolique ?

C'est le langage, en tant qu'interaction entre un enseignant et des élèves, et médiateur du savoir, qui joint action et activité symbolique.

Il nous faut donc maintenant étudier plus finement comment le langage *réalise* le savoir.

8. Comment caractériser l'action langagière de l'enseignant ?

Nous avons vu dans la partie précédente que l'action de l'enseignant consistait à maintenir la relation didactique. L'objectif de cette partie est de s'intéresser à la forme que prend cette relation. Nous aborderons tout d'abord la dimension langagière et en particulier verbale de cette relation (8.1). Nous développerons dans un deuxième temps l'approche communicationnelle qui permet de caractériser l'aspect communicationnel de la relation didactique (8.2). Enfin, nous préciserons la notion de « jeux de langage » et expliquerons son intérêt d'un point de vue didactique (8.3).

8.1 L'action de l'enseignant : une action principalement verbale

Nous nous concentrons dans cette partie sur l'action langagière de l'enseignant. Celui-ci mobilise plusieurs types de langage pour co-construire le milieu didactique : nous fondons notre analyse sur les travaux de Wittgenstein relatifs au langage pour caractériser les nuances de l'action de l'enseignant (8.1.1). Nous montrons dans un deuxième temps que le langage verbal de l'enseignant doit être pris en compte autant dans le fond didactique qu'il véhicule que dans la forme communicationnelle qu'il prend (8.1.2). Une analyse du discours doit par conséquent permettre de caractériser l'action enseignante, en s'appuyant à la fois sur une analyse didactique et communicationnelle (8.1.3).

8.1.1 Action langagière de l'enseignant

Si le but de l'action enseignante est de co-construire avec les élèves un milieu favorable à l'apprentissage, les moyens d'action qu'a l'enseignant sont des techniques essentiellement langagières : « le professeur utilise les ressources du langage comme autant d'outils langagiers, qui dans le même temps supposent et construisent une certaine communauté de significations, un arrière-fond commun qu'il faut pourtant faire évoluer pour que les élèves apprennent. Élaborer une théorie de l'action du professeur, c'est donc élaborer une théorie de l'action langagière en didactique » (Sensevy, 2002, p. 27).

Cette action langagière n'est pas seulement verbale, mais aussi écrite, comme l'écrivent Ha & Song (2009, p. 174) : « linguistic communication in science class might be regarded as a process by which topics relevant to science are shared between teacher and students or among students through spoken and written language ».

Childs & Mc Nicholl (2007, p. 1633) vont même plus loin, la communication se fait à travers un langage verbal mais le langage non-verbal peut prendre des formes très diversifiées : « teachers use a range of modes of communication to explain their subject that go beyond the

spoken word ; for example, diagrams, demonstrations, images from books, gestures, and so on (Kress, Jewitt, Ogborn, & Tsatsarelis, 2001)⁷⁷ ».

Ce sont par conséquent différents types de langage qui supportent l'action enseignante. Enseigner les sciences, c'est ainsi articuler différents types de langage (au moins le langage du quotidien et le langage scientifique), en utilisant différents registres sémiotiques (diagramme, équation mathématique, etc.)⁷⁸.

Cette conception plurielle du langage rappelle l'image employée par Wittgenstein (1953, §18) : « on peut considérer notre langage comme une vieille cité : un labyrinthe de ruelles et de petites places, de vieilles et de nouvelles maisons, de maisons agrandies à de nouvelles époques, et ceci environné d'une quantité de nouveaux faubourgs aux rues rectilignes bordées de maisons uniformes ».

Caractériser l'action de l'enseignant, c'est pister le savoir dans le labyrinthe de la ville de Wittgenstein, c'est compter les coups⁷⁹ dans les jeux de langage (Wittgenstein, 1953).

Les travaux de Wittgenstein sur le langage irriguent la pensée des sciences humaines et il nous semble important d'utiliser ce cadre de pensée pour comprendre les enjeux langagiers que soulève la didactique. Nous détaillerons plus tard la notion de « jeux de langage » qui nous semble en effet compatible avec les recherches en didactique (voir 8.3, p. 123).

Dans cette perspective, enseigner c'est tisser une diversité de jeux de langages qui font vivre le savoir, qui lui donne du sens.

Cette notion de jeux de langage peut être intéressante pour comprendre ce qui se joue en classe en terme de communication : tel jeu de langage peut être perçu différemment par l'enseignant et les élèves. C'est l'objet de l'article de Klaassen (1996, p. 125) qui écrit à propos d'une incompréhension entre un enseignant et une élève (Jane) : « la source de la confusion est que le professeur et Jane pensent qu'ils parlent le même langage, alors qu'en fait ils parlent différentes langues (même si les sons sont identiques) ».

Pour restreindre le champ de la complexité des jeux de langage, la majorité des études lues dans le cadre de notre travail de thèse fondent leurs résultats sur l'étude des interactions verbales.

8.1.2 Aspects perlocutoires du discours de l'enseignant

Le discours de l'enseignant est contraint par le contrat didactique : il sert en effet à faire agir les élèves sans leur donner le résultat attendu de leur action.

Sensevy & Quilio (2002, p. 54) font ainsi l'hypothèse que « c'est en partie parce que le professeur ne peut pas, ne doit pas tout dire (principe de réticence) qu'il doit faire faire (valence perlocutoire) ».

Les élèves sont donc en attente, dans ce cadre, de la forme que le discours enseignant va donner à leur action. Cette attente induit ainsi une valence perlocutoire forte du discours enseignant : « les énoncés du professeur peuvent avoir pour fonction de faire en sorte que les élèves travaillent dans un milieu adéquat, celui qui leur permettra d'élaborer des connaissances (valence perlocutoire), mais cette immersion dans le milieu suppose la rétention de certaines informations dans le jeu contractuel (réticence didactique) » (Sensevy & Quilio, 2002, p. 54).

⁷⁷ Kress, G., Jewitt, C., Ogborn, J., & Tsatsarelis, C. (2001). *Multimodal teaching and learning : the rhetorics of the science classroom*. London : Continuum.

⁷⁸ On se réfère ici à Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine*. Berne : Peter Lang.

⁷⁹ Il faut se rappeler que Wittgenstein utilise l'analogie du jeu, et notamment du jeu d'échecs pour penser le langage. Le « coup » dans un jeu de langage est donc analogue à une action langagière dans un contexte particulier.

Il se dégage par conséquent l'idée que la forme que prend le discours (dont une partie tient à la forme que prend le contrat) pèse dans la communication en donnant forme à l'action des apprenants.

Deleuze (1980, p. 95) développe même l'idée que la forme de l'interaction est plus importante que le fond : « la maîtresse ne s'informe pas quand elle interroge un élève, pas plus qu'elle n'informe quand elle enseigne une règle de grammaire ou de calcul. Elle « enseigne », elle donne des ordres, elle commande. Les commandements du professeur ne sont pas extérieurs à ce qu'il nous apprend, et ne s'y ajoutent pas. (...) La machine de l'enseignement obligatoire ne communique pas des informations mais impose à l'enfant des coordonnées sémiotiques (...). L'unité élémentaire du langage – l'énoncé- c'est le mot d'ordre ».

Il y a risque ici de vider l'interaction de son contenu de savoir au profit de la forme de l'interaction (le « mot d'ordre »). Toutefois, si on postule que le savoir donne forme aux interactions didactiques (Sensevy & Mercier, 2007), alors c'est qu'il faut considérer le savoir dans *ce qui se dit et comment cela se dit*.

C'est dans cet esprit qu'il faut entendre la phrase de Scott : « these studies suggest that « the way in which the teacher « talks around » the evidence or activity is at least as important as the evidence or activity itself » (Scott, 1997, p. 127)⁸⁰ » (cité par Mortimer & Machado, 2000, p. 430)

Tiberghien, Malkoun, Buty, Souassy & Mortimer (2007, p. 100) vont dans le même sens quand ils écrivent : « dans l'introduction d'un nouveau savoir dans la classe, il y a nécessairement une imbrication des composantes communicationnelles et épistémologiques. Pour faire partager un élément de savoir et le raisonnement le mettant en jeu, le professeur ou éventuellement l'élève les présente tout en visant à les justifier ou convaincre la classe de leur intérêt ».

8.1.3 Comprendre l'action du professeur par une analyse de discours

C'est une analyse du langage qui permet une description de l'action du professeur. C'est en ce sens que l'on peut comprendre la phrase de Lyotard (1979, p. 24) : « le lien social observable est fait de « coups » de langage » ». En comptant et en interprétant les « coups », on peut par conséquent remonter au lien social tel qu'il se montre, c'est-à-dire à l'action conjointe dans la classe.

C'est « l'idée essentielle » de Sensevy & Mercier (2007, p. 199) qui « réside dans le fait que la compréhension d'une action conjointe peut s'exercer dans l'analyse de la manière dont les systèmes sémiotiques vivent (ou ne vivent pas) dans la classe »⁸¹.

L'hypothèse forte que défendent Sensevy & Mercier (2007, p. 199) est « que la relation didactique (...) se joue en grande partie dans les systèmes sémiotiques qui l'actualisent. D'une certaine manière, l'émancipation de la personne dépend donc de la manière dont les systèmes sémiotiques utilisés permettent à la fois de trouver le collectif et de s'en distancier ».

Cette hypothèse repose sur une certaine conception de la communication, défendue notamment par Goffman (1956). Selon celle-ci, chaque « coup de langage » transforme la nature de l'interaction. Même si la préparation du cours inclut une stratégie chez l'enseignant, il ne peut pas prévoir complètement les coups que les élèves vont jouer pour faire évoluer le

⁸⁰ Scott, P. (1997). Teaching and learning science concepts in the classroom : talking a path from spontaneous to scientific knowledge. In *Anais do encontro sobre teoria e pesquisa em ensino de ciencias-linguagem, cultura e cognição; reflexões para o ensino de ciencias*. Belo Horizonte : Faculdade de Educação da UFMG.

⁸¹ On retrouve ici l'influence de Wittgenstein pour qui les jeux de langage sont des formes de vie.

milieu. Cette gestion de l'incertitude entre la stratégie *avant* et *pendant* le cours induit un déplacement des postures destinataire / destiné. L'enseignant, en subissant un coup de langage, doit réorienter l'interaction et donc la transformer. Cette position est symétrique à celle de l'élève : celui-ci, par ses réactions et ses questions, peut orienter l'interaction. C'est en ce sens que ce qui est échangé, le savoir, n'est pas seulement de l'information (car l'information seule reste inchangée) : c'est aussi un changement de posture relatif des acteurs. Autrement dit, si les postures des acteurs ne sont pas celles prévues, le savoir échangé n'est pas non plus celui qui était prévu.

C'est pourquoi « l'analyse des pratiques d'enseignement montre que la densité en savoir des interactions didactiques est la plupart du temps fonction des systèmes sémiotiques qui les accompagnent » (Sensevy & Mercier, 2007, p. 199) : il est des jeux de langage plus adaptés que d'autres pour faciliter le « déplacement » des acteurs. La langue naturelle (ou langage quotidien) a ainsi un rôle primordial pour accommoder le sens des savoirs : une même densité de savoir y est quelquefois plus économique que dans un autre système (Sensevy & Mercier, 2007).

Ces jeux de langage ne sont toutefois compréhensibles que dans une perspective pragmatique. Il faut ainsi faire la distinction, et dans le même temps une intrication, entre une approche communicationnelle (comment se dit le jeu qui se joue ?) et une approche didactique (quel est l'enjeu en terme de savoir du jeu qui se joue ?). Si l'approche communicationnelle donne un éclairage sur la forme que prennent les interactions, elle peut également éclairer ce qui se joue en terme de savoir dans la classe. De même, une approche didactique décrit ce qui se joue en terme de savoir, mais elle donne aussi accès à un éclairage sur la forme des interactions.

8.2 L'analyse communicationnelle

L'analyse communicationnelle a été développée par Mortimer & Scott (2003).

Ce cadre analytique développe une perspective socioculturelle de l'enseignement et de l'apprentissage et repose sur cinq dimensions liées (voir figure 4).

Aspect of analysis		
Focus	1 Teaching purposes	2 Content
Approach	3 Communicative approach	
Action	4 Patterns of discourse	5 Teacher interventions

Figure 4 : Le cadre analytique, un outil pour analyser les interactions en classe de sciences (figure issue de Mortimer & Scott, 2003, p. 25)

Nous développons dans la suite chacune de ces dimensions, en suivant l'argumentation de ces deux chercheurs :

- L'objet de l'analyse – focus (8.2.1) dans ces deux composantes (1) Teaching purposes (8.2.1.1) et (2) Content (8.2.1.2) ;
- L'approche communicationnelle (8.2.2) ;
- L'analyse de l'action (8.2.3), dans l'analyse des modèles de discours (8.2.3.1) et des interventions de l'enseignant (8.2.3.2).

8.2.1 L'objet de l'analyse (focus)

8.2.1.1 Les types d'activités d'enseignement (Teaching purposes)

La première dimension est liée aux objectifs que fixe l'enseignement à l'interaction : « the key question that is addressed in relation to this aspect of the analysis of classroom teaching interactions is : what purpose (s) is served, with regard to the science being taught, by this phase of the lesson ? » (Mortimer & Scott, 2003, p. 26).

Selon ces chercheurs, une progression d'enseignement met en jeu différents types d'activités qui dépendent du moment de la leçon ou de la séquence.

Ils proposent ainsi une typologie d'activités qu'ils ont identifiée :

- ouvrir un problème ;
- explorer et travailler sur les conceptions des élèves ;
- introduire et développer l'histoire scientifique ;
- guider les étudiants à travailler avec les idées scientifiques et à supporter l'internalisation ;
- guider les étudiants à appliquer et à étendre leur usage de la perspective scientifique et la prise en main de la responsabilité de son usage ;
- maintenir le développement de l'histoire scientifique.

La table ci-dessous (figure 5) développe chaque item :

Teaching purposes	Focus
Opening up the problem	Engaging students intellectually, and emotionally, in the initial development of the scientific story
Exploring and working on students' views	Probing students' views and understanding of specific ideas and phenomena
Introducing and developing the scientific story	Making the scientific meanings (including conceptual, epistemological, technological, social and environmental themes) available on the social plane of the classroom
Guiding students to work with scientific meanings, and supporting internalization	Providing opportunities for students to talk and think with new scientific meanings, individually, in groups or in whole-class situations. At the same time, supporting students in making individual sense of, and internalizing, those meanings, and supporting internalization.

Guiding to supply, and expand on the use of, the scientific view, and handing over responsibility for its use	Supporting students in applying taught scientific meanings in a range of contexts and handing over responsibility for using those meanings to the students
Maintaining the development of the scientific story	Providing a commentary on the unfolding scientific story, to help students to follow its development and to see how it fits into the wider science curriculum

Figure 5, *Teaching purposes*, tableau issu de Mortimer & Scott, 2003, p. 29.

8.2.1.2 Contenu de l'interaction (Content)

La deuxième dimension est liée au contenu de l'interaction : « the key question that is addressed in relation to this aspect of the analysis of classroom teaching interactions is : “What is the nature of the knowledge which the teacher and students are talking about during this phase of the lesson ?” » (p. 27).

Selon les deux auteurs, la nature de la connaissance qui constitue le contenu de l'interaction peut se caractériser de deux manières :

- suivant le type de langage utilisé.

Les auteurs fondent leur perspective sur la distinction chez Vygotsky entre le langage quotidien et le langage scientifique. Un énoncé peut ainsi se catégoriser par son appartenance à un certain langage social. Buty & Mortimer (2008) utilisent le concept de « langage social » élaboré par Bakhtine. Par langage social, Bakhtine entend : « a social language is “a discourse peculiar to a specific stratum of society (professional, age, group, etc.) within a given social system at a given time” (Bakhtin, 1981 [1934], p. 430)⁸². (...) In Baakhtin's view, a speaker always produces an utterance using a specific social language that shapes what he/she can say » (Buty & Mortimer, 2008, p. 1639). Selon ce cadre, on peut ainsi différencier langage commun et langage scientifique, dans le sens où le langage scientifique produit des énoncés langagiers dans un contexte spécifique à la communauté scientifique.

- suivant les genres de discours.

Les genres de discours renvoient à des formes typiques d'énoncés : « so, in orchestrating the ways talk is produced in classrooms, teachers will resort to at least two different social languages – everyday life and school science social languages – and to a variety of speech genres, which includes narratives, descriptions, explanations, different patterns of interaction, etc. » (Buty & Mortimer, 2008, p. 1640). Trois caractéristiques propres au langage scientifique (les descriptions, les explications, les généralisations) sont par conséquent distinguées. Elles peuvent être empiriques ou théoriques.

Il s'agit alors de catégoriser un énoncé scientifique comme étant une description, une explication ou bien une généralisation. Ces trois domaines de l'activité scientifique sont par conséquent susceptibles d'être supportés par des genres de discours différents.

Ces distinctions renvoient à la notion de « jeux de langage » de Wittgenstein. Il existe (au moins) deux langages (langages sociaux), pour ce qui est de l'enseignement des sciences, portés par des jeux différents (genres de discours). Le langage scientifique est finalement

⁸² Bakhtin, M.M. (1934/1981). *The dialogic imagination*. M. Holquist (Ed.), (C. Emerson & M. Holquist, Trans.). Austin : University of Texas Press.

assez éloigné du langage courant, dans le sens où ils créent chacun une image du monde différente, même si la syntaxe et beaucoup de mots sont communs. De même, comparé au langage mathématique, le langage scientifique est plus proche du langage quotidien. Les jeux de traduction de l'un à l'autre sont primordiaux pour l'enseignement scientifique. On conçoit ainsi que les genres de discours de Bakhtine sont interprétables par la grille conceptuelle qu'offre Wittgenstein.

8.2.2 L'approche communicationnelle

Cette approche utilise le concept de dialogisme qu'il nous semble important de préciser dans un premier temps (8.2.2.1). Nous développons ensuite les deux dimensions de l'approche communicationnelle (8.2.2.2), en détaillant le degré de dialogisme du discours de l'enseignant (8.2.2.2.1) puis son degré d'interaction (8.2.2.2.2). Finalement, nous nous intéresserons à l'apport de la combinaison de ces deux dimensions (8.2.2.2.3).

8.2.2.1 Le dialogisme

Il s'agit d'un concept issu du Cercle de Bakhtine, qui a été travaillé par la suite et qui possède par conséquent une pluralité de sens. Dans une première approche, on qualifie un discours de dialogique quand il intègre en lui d'autres discours. Nous affinons cette première définition en recourant à l'article "dialogisme" du *dictionnaire d'analyse du discours* de Charaudeau & Maingueneau (2002).

Selon Bakhtine et Volochinov, tout discours est dialogique car « le discours rencontre le discours d'autrui sur tous les chemins qui mènent vers son objet, et il ne peut pas ne pas entrer avec lui en interaction vive et intense. Seul l'Adam mythique, abordant avec le premier discours un monde vierge et encore non dit, le solitaire Adam, pouvait vraiment éviter absolument cette réorientation mutuelle par rapport au discours d'autrui, qui se produit sur le chemin de l'objet (Bakhtine, in Todorov (1981), p. 98)⁸³ » (Charaudeau & Maingueneau, 2002, p. 175).

Même un monologue est en effet dialogique dans le sens où d'autres discours lus, entendus, digérés et finalement transformés, nourrissent tout discours (et donc y sont cachés). Les linguistes parlent alors de *dialogisme constitutif*. Celui-ci est double car tout énoncé est pris dans une chaîne, entre des énoncés passés auxquels il répond (relations interdiscursives) et énoncés futurs qu'il anticipe (relations interlocutives).

Les linguistes distinguent le *dialogisme constitutif* de tout discours et le *dialogisme montré* dans certains discours. Il s'agit alors de la place intentionnelle qu'occupe le discours de l'autre dans un discours.

Les études didactiques faisant référence à Bakhtine utilisent plutôt le concept de dialogisme montré : « we define dialogic discourse as being that which is open to different points of view. » (Scott, Mortimer & Aguiar, 2006, p. 610).

⁸³ Todorov, T. (1981). *Mikhaël Bakhtine. Le principe Dialogique*, suivi de *Écrits du Cercle de Bakhtine*. Paris : Éditions de Minuit.

8.2.2.2 Les deux dimensions de l'approche communicationnelle

L'approche communicationnelle est définie par Scott, Mortimer & Aguiar (2006, p. 609) : « the communicative approach focuses on questions such as whether or not the teacher interacts with students (either taking turns in the discourse or simply presenting material), and whether the students' ideas are taken into account as the lessons proceed ».

Le discours de l'enseignant peut se classer selon deux dimensions, d'après les auteurs : dialogique / « authoritative » et interactif / non interactif.

8.2.2.2.1 La dimension dialogique / authoritative

La prise en compte du discours des élèves dans le discours de l'enseignant comprend plusieurs niveaux d'intrication. C'est la signification du tableau suivant (figure 6) :

Dialogic Discourse and Interanimation of Ideas

DIALOGIC discourse	LOW level of interanimation of ideas	Different ideas are made available on the social plane. For example: teacher lists student ideas on the board.
	HIGH level of interanimation of ideas	Different ideas are explored and worked on by comparing, contrasting, developing.

Figure 6 : Discours dialogique et niveau de prise en compte des discours des élèves, Scott, Mortimer & Aguiar, 2006, p. 611.

Le discours authoritative ne comprend qu'un seul point de vue : l'enseignant ignore les points de vue alternatifs ou au contraire choisit seulement celui qui l'intéresse.

D'après Scott, Mortimer & Aguiar (2006, p. 623), même si discours dialogique et authoritative s'opposent, ces deux pôles sont nécessaires dans la pratique enseignante : l'équilibre est à trouver dans la pratique : « although we have presented authoritative and dialogic discourses as constituting, in theory, two poles of a dimension, it is important to recognize their intimate dynamic linkage in practice. The *tension* which we refer to in this article develops as dialogic exploration of both everyday and scientific views requires resolution through authoritative guidance by the teacher. Conversely the tension develops as authoritative statements by the teacher demand dialogic exploration by students. So, both dialogicity and authoritativeness contain the seed of their opposite pole in the dimension, and in this way we see the dimension as tensioned and dialectic, rather than as being an exclusive dichotomy. Following these ideas, we see teaching for meaningful learning in terms of a progressive shifting between authoritative and dialogic passages, with each giving rise to the other ».

8.2.2.2 La dimension interactif / non interactif

Il s'agit de repérer dans le discours de l'enseignant la présence d'une interaction avec les élèves (Mortimer & Scott, 2003).

On parle de discours interactif si il y a participation de plus d'une personne à la construction de ce discours. Parallèlement, on parle de discours non interactif s'il y a exclusion de la participation d'autrui.

8.2.2.3 Les quatre possibilités pour l'approche communicative

En croisant les deux dimensions, il apparaît quatre classes d'approches communicationnelles, renvoyant à quatre types de discours. Celles-ci sont détaillées dans le tableau suivant (figure 7) :

Four Classes of Communicative Approach

	Interactive	Noninteractive
Dialogic	<i>A. Interactive/Dialogic</i>	<i>B. Noninteractive/Dialogic</i>
Authoritative	<i>C. Interactive/Authoritative</i>	<i>D. Noninteractive/Authoritative</i>

Figure 7 : Les 4 classes d'approche communicationnelle, Scott, Mortimer & Aguiar, 2006, p. 611.

- Classe A : le savoir se construit sur un mode interactif en prenant en compte les points de vue des élèves (discutés et comparés dans le cas d'un dialogisme fort ; seulement exprimés dans le cas d'un dialogisme faible).
- Classe B : le savoir est construit par l'enseignant en faisant appel à différents points de vue (dialogisme fort ou faible).
- Classe C : le savoir est construit sur un mode interactif mais l'enseignant oriente le jeu des questions / réponses en prenant en compte un point de vue unique.
- Classe D : l'enseignant construit seul le savoir en ne présentant qu'un point de vue. Le cours magistral est alors l'archétype de cette classe de discours.

Cette classification nous semble intéressante car elle s'applique aussi bien pour décrire le rôle du professeur et ses actions que pour décrire les interactions entre les élèves. Elle a de plus été fructueuse dans les travaux de Levinson (2004) et de Buty & Mortimer (2008).

8.2.3 L'analyse de l'action

Après avoir détaillé l'objet de l'analyse et l'approche communicationnelle, nous développons ici la dimension « analyse de l'action » de l'analyse communicationnelle.

L'analyse de l'action enseignante se fait suivant deux axes : par une modélisation de l'interaction (suivant des modèles de discours) et par une description des interventions de l'enseignant.

8.2.3.1 Les modèles de discours

On peut catégoriser les discours suivant leur degré de complexité :

- Certains discours sont simples à modéliser.

C'est par exemple le cas des discours qui suivent le modèle I-R-F ou I-R-E : « the most distinctive pattern of interaction reported in the literature is the three-part exchange structure which Lemke (1990)⁸⁴ refers to as triadic dialogue. This pattern was first described as IRF (Sinclair & Coulthard, 1975)⁸⁵ or as IRE (Mehan, 1979)⁸⁶. For both authors, *I* stands for “Initiation” (normally through question from the teacher) and *R* stands for “Response” (normally from the student). In to the third move, Sinclair and Coulthard (1975) refer to “Follow-up,” while Mehan (1979) and others refer to “Evaluation” » (Scott, Mortimer & Aguiar, 2006, p. 612).

Dans ce cas, le professeur pose une question (I), l'élève répond (R), l'enseignant évalue la réponse (E) ou bien peut relancer le dialogue (F)

La plupart des interactions autoritatives utilisent le schéma I-R-E.

- Certains discours sont plus complexes à modéliser car la relance de l'enseignant s'accompagne à nouveau d'une réponse de l'élève.

Le modèle est alors I-R-P-R-P-R-(où P signifie « prompt » : le professeur rebondit sur R donnée et suscite plus d'interaction).

Deux cas sont possibles : la chaîne se termine par une évaluation (E) ou bien elle reste ouverte (-(...)).

- Certains discours sont encore plus complexes car la chaîne comprend plusieurs élèves, qui rebondissent sur les réponses fournies :

« for example, students (rather than the teacher) can initiate a sequence by posing a question. Alternatively, different students can answer the same question from the teacher, generating an *I-Rs1-Rs2-Rs3-* form, where *Rsn* indicates a response from a particular student. In this latter pattern, the response from student 3 (for example) might not necessarily address the initial question posed by the teacher; it might be a comment on a previous student's response » (Scott, Mortimer & Aguiar, 2006, p. 613).

8.2.3.2 Les interventions de l'enseignant

Mortimer & Scott (2003, p. 45) recensent diverses interventions de l'enseignant.

L'action de l'enseignant consiste, selon les auteurs, à :

- donner une forme aux idées des élèves ;
- sélectionner les idées pertinentes ;
- dégager les mots-clés ;
- partager les idées ;
- vérifier la compréhension des élèves ;
- résumer ce qui a été dit (phase d'institutionnalisation).

⁸⁴ Lemke, J.L. (1990). *Talking science. Language, learning and values*. Norwood, NJ : Ablex.

⁸⁵ Sinclair, J.M., & Coulthard, M. (1975). *Towards an analysis of discourse : the English used by teachers and pupils*. London : Oxford University Press.

⁸⁶ Mehan, H. (1979). *Learning lessons : Social organization in the classroom*. Cambridge, MA : Harvard University Press.

8.3 L'analyse didactique des jeux de langage

Nous reprenons dans cette partie la notion de « jeux de langage » de Wittgenstein pour l'approfondir (voir 7.2.2.1, p. 104). Deux dimensions nous semblent nécessiter cet approfondissement. Tout d'abord, puisque nous nous intéressons à l'action langagière de l'enseignant, il nous semble intéressant de faire un point sur le lien que Wittgenstein fait entre langage et pratique dans sa notion de jeu de langage (8.3.1).

De plus, nous avons vu que la TACD mobilise elle aussi le jeu, conçu du point de vue du jeu didactique ou des jeux d'apprentissage. Nous nous interrogeons donc sur l'intérêt que peut avoir une lecture du jeu selon Wittgenstein pour comprendre par ricochet ce qu'implique la notion de jeu en TACD pour l'analyse de la pratique enseignante (8.3.2).

8.3.1 Les jeux de langage de Wittgenstein

Nous développons ici les 4 acceptations de l'expression de « jeux de langage », qui se succèdent dans l'œuvre de Wittgenstein (Glock, 1996, p. 339).

8.3.1.1 Les « jeux de langage » comme apprentissage de pratiques

Dans les *Recherches Philosophiques*, c'est tout d'abord sur l'apprentissage du langage par les enfants que se porte l'attention de Wittgenstein : les jeux de langage sont alors des « formes primitives de langage », dont l'enseignement « n'est pas une explication, mais un dressage » (§5, p. 29). Wittgenstein prend alors l'enseignement ostensif des mots comme exemple de dressage : « le maître montre des objets, attire l'attention de l'enfant sur eux en prononçant un mot (...) et montre en même temps la forme en question » (§6, p. 30). Wittgenstein critique la conception classique du langage⁸⁷ selon laquelle la signification du mot est la chose montrée. Wittgenstein reproche à cette conception de réduire le langage à certaines catégories de mots (ceux qu'on peut justement associer à des choses !) et d'en oublier d'autres (les verbes, les exclamations, les connecteurs, etc.). Pour Wittgenstein, la relation d'un mot et d'un objet est plus complexe que celle d'une association. De plus, ce mode d'apprentissage est un dressage car le maître n'explique pas la signification des mots à l'enfant, il lui apprend plutôt un usage (la monstration) et c'est la répétition des contextes d'usage qui fera que l'enfant comprendra la teneur de l'association entre le mot et la chose : « la signification d'un mot est son usage dans le langage » (§43, p. 50).

8.3.1.2 Les « jeux de langage » fictifs

Wittgenstein invente alors des « jeux de langage » simples et complets, dont il détermine à l'avance les contextes et conditions d'usage. Ces jeux de langage « fictifs » sont autant d'expériences de pensée qui lui permettent de raisonner sur des propriétés particulières du langage et de tester la validité des théories philosophiques qui les sous-tendent. C'est surtout dans ses cahiers bleu et brun que Wittgenstein raisonne par ces types de jeux de langage.

⁸⁷ Ce que Wittgenstein (1953) appelle la conception augustinienne du langage (§1).

8.3.1.3 Les « jeux de langage » dans les activités linguistiques

Les jeux de langage fictifs prennent moins d'importance dans les *Recherches philosophiques* car « il se consacre aux activités linguistiques réelles, et les décrit sur l'arrière-plan de nos pratiques non-linguistiques » (Glock, 1996, p. 342).

C'est dans ce cadre qu'il faut comprendre les exemples d'activités langagières que donne Wittgenstein (1953) des jeux de langage :

« Donner des ordres et agir d'après ces ordres –

Décrire un objet en fonction de ce que l'on voit, ou partir des mesures que l'on prend –

Produire un objet d'après une description (un dessin) –

Rapporter un événement –

Faire des conjectures au sujet d'un événement –

Etablir une hypothèse et l'examiner –

Représenter par des tableaux et des diagrammes les résultats d'une expérience –

Inventer une histoire et la lire –

Faire du théâtre –

Chanter des comptines –

Résoudre des énigmes –

Faire une plaisanterie ; la raconter –

Résoudre un problème d'arithmétique appliquée –

Traduire d'une langue dans une autre –

Solliciter, remercier, jurer, saluer, prier » (§24, p. 40).

Il cite également le mensonge (§249, p. 137), le partage d'information (§363, p. 168), la prédiction en gymnastique et en chimie (§630, p. 230).

Il n'y a ainsi pas de définition univoque des jeux de langage mais une variété infinie de possibilités qui font que tous ces jeux, sans avoir de propriété *essentielle* en commun, ont un certain « air de famille ».

C'est alors le concept de grammaire qui permet à Wittgenstein de décrire et spécifier davantage l'activité linguistique : « la grammaire d'un langage est le système complet des règles grammaticales, des règles constitutives qui définissent ce langage en déterminant ce qu'il est possible de dire de manière sensée dans ce langage » (Glock, 1996, p. 280).

Wittgenstein conçoit le système de règles comme étant fonctionnel : une même phrase peut constituer une règle ou non suivant sa fonction dans un jeu de langage. Il distingue alors des *propositions empiriques*, qui sont les coups joués dans les jeux de langage, et des *propositions grammaticales*, qui constituent les règles des jeux joués. Ce sont par conséquent les propositions grammaticales qui donnent une forme à nos représentations et fixe la signification des mots dans le jeu de langage joué. C'est donc l'usage qui indique la nature d'une proposition et celle-ci peut changer : « toute proposition empirique peut être transformée en postulat et devenir alors une norme de description » (Wittgenstein, 1987, §321).

8.3.1.4 Le langage comme jeu

Wittgenstein étend également la notion de jeux de langage au langage pris dans son ensemble : « j'appellerai aussi « jeu de langage » l'ensemble formé par le langage et les activités avec lesquelles il est entrelacé » (Wittgenstein, 1953, § 7, p. 31). Cette extension est en fait rendue possible par l'importance de plus en plus grande que Wittgenstein donne aux pratiques non linguistiques qui accompagnent les activités linguistiques. Si l'on ne peut pas

séparer les pratiques de la culture qui leur donne sens, alors on ne peut pas détricoter les pratiques singulières, les jeux de langage, de « l'arrière-plan » humain (culturel et biologique) où elles vivent. Les jeux de langage sont par conséquent entrelacés avec des activités non linguistiques et sont imbriqués dans une « forme de vie ». Schulte (1992, p. 124) précise que par cette notion de « forme de vie », Wittgenstein entend l'ensemble des pratiques d'une communauté linguistique ». Les jeux de langage sont alors « au milieu d'un grouillement, du tourbillon de la forme de vie » (Laugier, 2010, p. 108). Cet « arrière-plan » duquel émergent les jeux de langage ne détermine pas les règles des jeux joués : « les conditions d'arrière-plan imposent des contraintes causales : elles expliquent en partie pourquoi nous n'empruntons pas une certaine voie, mais non pourquoi nous en empruntons une autre » (Glock, 1996, p. 87). Autrement dit, l'arrière-plan peut permettre de comprendre un jeu de langage, sans pour autant qu'il le détermine complètement.

8.3.2 L'analyse didactique des jeux de langage

Wittgenstein utilise le jeu comme modèle heuristique pour décrire et comprendre les interactions langagières. En ce sens, la notion de « jeux de langage » est compatible avec la notion de « jeu didactique » de la TACD et, sur cette base, nous souhaitons croiser les deux approches. Si le jeu didactique permet de modéliser l'action conjointe en rendant compte de la dynamique du milieu en termes de jeux d'acteur et de stratégies pour gagner les jeux d'apprentissage, les jeux de langage permettent de mettre l'accent sur les règles qui régissent l'évolution du milieu (la mésogénèse). En effet, nous estimons qu'une analyse des jeux de langage consiste à rendre compte de la grammaire implicite ou explicite qui conditionne les échanges entre l'enseignant et les élèves. Cette grammaire contraint la mésogénèse et structure la chronogénèse. Autrement dit, analyser les jeux de langage, c'est analyser au niveau des interactions la dynamique des mots utilisés par les acteurs pour rendre compte de la forme de vie qui agit à la fois comme source et comme produit de la pratique linguistique. Cet « arrière-plan » est par conséquent à lier à l'épistémologie pratique de l'enseignant, dans le sens où l'un comme l'autre ne déterminent pas précisément ce qu'il advient dans la pratique mais élaguent la multiplicité des pratiques possibles. Nous analyserons donc les jeux de langage avec comme objectifs de rendre compte des contraintes « grammaticales » qu'imposent dans la pratique les théories « en acte » sur l'enseignement / apprentissage, sur la science et sur les savoirs spécifiques enseignés.

Résumé du chapitre 8

L'action de l'enseignant est langagière et principalement sous forme verbale. L'enseignant de sciences mobilise plusieurs registres de langage et la vie du savoir en classe dépend des jeux de langage qui animent les interactions entre l'enseignant et les élèves.

Le discours de l'enseignant a ainsi un aspect perlocutoire dans le sens où il sert à résoudre les paradoxes du contrat didactique : c'est par la forme de son discours que l'enseignant fait agir les élèves.

Il convient donc de comprendre l'action de l'enseignant en classe en analysant son discours suivant deux dimensions intriquées : d'un point de vue didactique (TACD et jeux de langage) et d'un point de vue communicationnel.

Le point de vue didactique s'articule autour du modèle heuristique du jeu. La TACD fournit des outils pour décrire l'action de l'enseignant à l'aide du triplet de genèse et du quadruplet des techniques didactiques. Les jeux de langage de Wittgenstein permettent une analyse « grammaticale » de l'usage des mots employés dans les interactions pour décrire la forme de vie dans laquelle s'inscrit la pratique.

L'approche communicationnelle fournit un cadre théorique qui nous permet d'analyser la forme que prend le discours de l'enseignant, en catégorisant ce discours en plusieurs dimensions : l'objet du discours, l'approche communicationnelle (analyse des interactions) et une analyse de la forme du discours.

Maintenant que nous disposons d'outils pour modéliser l'action de l'enseignant en classe, il est temps de problématiser notre travail et de développer la manière dont nous organisons le travail empirique.

9. Problématique

Nous faisons ici le point sur ce que les parties précédentes ont apporté à notre réflexion et structurons ces éléments afin de formaliser nos questions de recherche.

L'enseignement des sciences et des techniques est bousculé avec l'émergence des technosciences, car la question de la formation des citoyens à leur gouvernance est posée : comment former le citoyen à débattre et à prendre position sur des questions mettant en jeu des développements scientifiques et techniques ? (chapitre 1).

Il s'ensuit qu'un nouveau courant éducatif se structure, dans le monde anglophone et francophone, pour critiquer l'enseignement actuel des sciences et des techniques et pour promouvoir de nouvelles formes scolaires fondées sur la promotion d'une culture scientifique pour l'éducation du citoyen (chapitre 2). Des recherches se développent dans ce cadre pour étudier l'introduction en classe de situations mettant en jeu des controverses socioscientifiques. Les objets de ces recherches concernent l'apprentissage et plus récemment l'enseignement de / par des controverses (chapitre 3).

Nous nous interrogeons sur les conditions écologiques qui rendraient viables l'enseignement de contenus de savoir liés à la « science en action » dans un système d'enseignement actuellement lié à la « science faite » (chapitre 4). La question qui nous anime est donc :

- Comment peut-on articuler « science en action » et « science faite » dans l'enseignement actuel des sciences et des techniques ?

Répondre à cette question dépasse bien entendu le cadre de notre travail. Aussi avons-nous commencé à en restreindre la portée en nous intéressant à des contenus de savoir particuliers. Nous avons ainsi choisi l'énergie, comme savoir de « science faite », notamment parce que c'est un savoir « traditionnel » de l'enseignement de la physique et que c'est un concept très structurant dans la champ savant (chapitre 5). De même, nous nous sommes intéressés au changement climatique en tant que « science en action », car ce thème nous semblait à la fois représentatif dans un monde technoscientifique de la montée en puissance de l'expertise scientifique dans les choix politiques (à travers un organisme hybride : le GIEC) et également un domaine de controverses socioscientifiques médiatisées (chapitre 6).

Si les recherches attestent de contraintes liées à l'engagement des enseignants à traiter de savoirs « vifs » en classe, elles sont peu documentées sur les pratiques effectives, aussi bien liées à des savoirs vifs que stabilisés. Nous avons par conséquent choisi de traiter la question de l'écologie des savoirs liés à la « science en action » au niveau de la pratique effective des enseignants. Notre question initiale peut donc se préciser :

- Comment un enseignant enseigne-t-il l'énergie ?
- Comment le même enseignant enseigne-t-il le changement climatique ?
- Que peut-on inférer des pratiques effectives pour l'articulation de ces deux types de contenus de savoir (en terme de freins / leviers) dans la pratique ?

Il nous faut par conséquent spécifier des pratiques dans les deux contextes différents, que sont l'enseignement de l'énergie et du changement climatique.

Nous avons vu précédemment (chapitre 7) que la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) donne un cadre théorique qui permet de décrire l'action de l'enseignant : celui du jeu didactique. Nous pouvons donc reformuler nos questions de recherche, dans une perspective

comparatiste, dans le but de décrire et d'analyser l'action conjointe, du point de vue de l'enseignant :

- Quelles spécificités et généralités prend le jeu didactique dans les deux contextes différenciés que sont l'enseignement de l'énergie et du changement climatique ?
- Peut-on induire de ces spécificités et généralités du jeu didactique une lecture en terme de freins / leviers pour l'articulation de ces deux contenus de savoir dans la pratique d'un enseignant ?

Pour répondre à ces questions, il nous est de plus nécessaire de documenter les formes que prend la relation didactique dans ces deux contextes différents, ce qui implique de caractériser l'action langagière de l'enseignant. Nous avons vu dans la partie précédente (chapitre 8) que nous pouvons décrire l'action langagière grâce à l'analyse communicationnelle, qui complète ainsi les descripteurs de la TACD, et l'analyse des jeux de langage, qui permet de caractériser les savoirs en jeu. Nous pouvons donc compléter notre questionnement relatif au jeu didactique :

- Quelles spécificités et généralités dans les aspects communicationnels du jeu didactique dans les deux contextes différenciés que sont l'enseignement de l'énergie et du changement climatique ?
- Quelles spécificités et généralités dans les jeux de langage du jeu didactique dans les deux contextes différenciés que sont l'enseignement de l'énergie et du changement climatique ?

Cette description comparée de pratique a également pour but de comprendre l'action, c'est en ce sens que le modèle du jeu didactique est un modèle heuristique. Nous visons donc à travers ce travail une compréhension de ce qui peut déterminer l'action. Nous avons vu que l'épistémologie pratique de l'enseignant pouvait être conceptualisée comme un déterminant de la pratique (chapitre 7). Nous pouvons donc préciser notre questionnement relatif à l'articulation des deux types de savoir dans la pratique d'un enseignant :

- Quelles spécificités et généralités prend l'épistémologie pratique dans les deux contextes différenciés que sont l'enseignement de l'énergie et du changement climatique ?
- Quel rôle peut jouer l'épistémologie pratique dans l'explicitation des freins / leviers qui permettraient une articulation de ces deux types de savoirs dans la pratique d'un enseignant ?

Résumé du chapitre 9

Nos questions de recherche sont :

Des questions portant sur la description comparée de pratiques :

- Quelles spécificités et généralités prend le jeu didactique dans les deux contextes différenciés que sont l'enseignement de l'énergie et du changement climatique ? (Q₁)

Ceci exige en plus de répondre aux questions :

- Quelles spécificités et généralités dans les aspects communicationnels du jeu didactique dans les deux contextes différenciés que sont l'enseignement de l'énergie et du changement climatique ?

- Quelles spécificités et généralités dans les jeux de langage du jeu didactique dans les deux contextes différenciés que sont l'enseignement de l'énergie et du changement climatique ?

Des questions portant sur la compréhension des pratiques :

- Quelles spécificités et généralités prend l'épistémologie pratique dans les deux contextes différenciés que sont l'enseignement de l'énergie et du changement climatique ? (Q₂)

- Quel rôle peut jouer l'épistémologie pratique dans l'explicitation des freins / leviers qui permettraient une articulation de ces deux types de savoirs dans la pratique d'un enseignant ? (Q₃)

Nous abordons par conséquent dans la partie suivante la méthodologie que nous mettons en place pour répondre à ces questions.

Partie 4 : Méthodologie

« La démarche, c'est-à-dire la manière dont nous suivons les choses de près (μεθοδος), décide par avance de ce que nous découvrons dans les choses en fait de vérité. La méthode n'est pas une pièce d'équipement de la science parmi d'autres, c'est sa teneur fondamentale, à partir de laquelle se détermine avant toutes choses ce qui peut devenir objet et comment cela le devient »

M.Heidegger, *Qu'est-ce qu'une chose ?*, 1971.

Sommaire de la partie 4

10. MÉTHODOLOGIE	133
10.1 Principes généraux	133
10.2 Un processus de collecte de traces.....	135
10.3 Le processus de traitement des traces : la construction de signes	140
10.4 La production de configurations signifiantes : un jeu de langage du chercheur	153
Résumé du chapitre 10.....	159

10. Méthodologie

Nous explicitons dans cette partie la méthodologie que nous avons mise en oeuvre dans ce travail de thèse. Nous la justifions tout d'abord, en nous appuyant sur les principes méthodologiques issus de la didactique comparée, et donnons quelques éléments généraux de notre démarche (10.1). Nous développons ensuite :

- la façon dont nous avons recueilli nos données (10.2) ;
- la façon dont nous les avons traitées (10.3) ;
- la façon dont nous avons construit leur interprétation (10.4).

Nous récapitulons finalement dans un schéma synoptique l'ensemble du dispositif (Résumé du chapitre 10).

10.1 Principes généraux

Nous nous appuyons sur les travaux issus de la didactique comparée et nous inscrivons notre méthode dans une démarche dialectique de type clinique / expérimentale (10.1.1). Nous présentons brièvement notre dispositif de recherche, notamment les enseignants que nous avons suivis (10.1.2.1), le contrat de recherche que nous avons passé avec eux (10.1.2.2) et schématisons les grandes lignes des principes de ce dispositif (10.1.3).

10.1.1 Une démarche clinique / expérimentale

Leutenegger (2009) se réfère aux travaux de Foucault (1963)⁸⁸ pour qualifier de « clinique » la méthodologie utilisée en didactique comparée. En effet, ce que décrit Foucault (1963) dans son ouvrage c'est la construction de *signes* par le clinicien à partir d'une série de symptômes : « parmi les symptômes, ne deviennent signes que les observables qui font sens pour le clinicien : celui-ci s'attache à faire parler les symptômes, à les ériger en signes et à les regrouper selon des configurations signifiantes en les rattachant à des savoirs établis, en l'occurrence des savoirs médicaux » (Leutenegger, 2009, p. 87).

L'objectif du clinicien en didactique est donc par analogie de construire des signes à propos d'une série d'observations en classe. Ces signes construits sont alors les *phénomènes didactiques*.

Toutefois, la série d'observations est pensée en didactique comparée à travers le prisme de contraintes expérimentales : c'est le dispositif expérimental qui va permettre la production de traces que le clinicien transformera en signes.

La dialectique clinique / expérimentale consiste donc à tenir ensemble la production des traces et des signes pour documenter une pratique ordinaire.

⁸⁸ Foucault, M. (1963). *La naissance de la clinique. Une archéologie du regard médical*. Paris : PUF.

10.1.2 Le dispositif de recherche

10.1.2.1 Profil des enseignants dont la pratique est étudiée

Nous avons suivi deux enseignants, que nous nommerons enseignant A et enseignante B par la suite, et une de leurs classes.

L'enseignant A et sa classe de 1^{ère} S

L'enseignant A enseigne dans un lycée agricole depuis 3 années.

Il a un CAPESA (CAPES Agricole) de Physique-Chimie. Il est également titulaire d'une licence de Physique. Nous le suivons dans ce travail de recherche avec sa classe de 1^{ère} S.

Il a également des classes de 2^{nde} GT et de Terminale S.

La première séance filmée est une séance d'introduction à l'énergie. Elle dure 2 heures et 19 élèves sont présents.

La deuxième séance filmée est une séance sur le changement climatique. Elle dure 2 heures et 18 élèves sont présents.

L'enseignant A est un enseignant que l'on peut donc qualifier de novice, vu sa jeune expérience du métier. Il aborde très rarement les controverses socioscientifiques en classe⁸⁹ et n'a jamais enseigné le changement climatique. Le changement climatique n'est d'ailleurs pas au programme de 1^{ère} S.

L'enseignante B et sa classe de 1^{ère} STAV

L'enseignante B enseigne dans un lycée agricole depuis 14 années.

Elle a un CAPESA (CAPES Agricole) de Physique-Chimie. Elle est également titulaire d'une licence de Physique et d'un master d'histoire, philosophie et didactique des sciences. Lors de ce master, elle s'est intéressée au changement climatique comme objet d'éducation.

Elle a également deux classes de 2^{nde} GT.

Nous la suivons dans ce travail de recherche avec sa classe de 1^{ère} STAV, constituée de 24 élèves.

La première séance filmée est une séance d'introduction à l'énergie. Elle dure une heure et 12 élèves sont présents (1/2 groupe).

La deuxième séance filmée est une séance sur le changement climatique. Elle dure 1h30 et 10 élèves sont présents (1/2 groupe).

L'enseignante B est donc une enseignante que l'on peut qualifier d'expérimentée. Elle aborde régulièrement les controverses socioscientifiques en classe⁹⁰ et elle y accorde de l'importance. Le changement climatique est au programme de 1^{ère} STAV.

Nous avons donc là deux profils différenciés, de par leur ancienneté dans le métier et de par leur expertise sur l'enseignement du changement climatique.

⁸⁹ En utilisant la catégorisation de Sadler, Amirshokohi, Kazempour & Allspaw (2006), on peut qualifier l'engagement de l'enseignant A d'« inhibé » (voir 3.2.4.3, p. 48).

⁹⁰ En utilisant la catégorisation de Sadler et al. (2004), on peut qualifier l'engagement de l'enseignante B d'« engagé » (voir 3.2.4.1, p. 47).

10.1.2.2 Contrat de recherche avec les enseignants A et B

Nous avons proposé à 20 enseignants de participer à cette recherche.

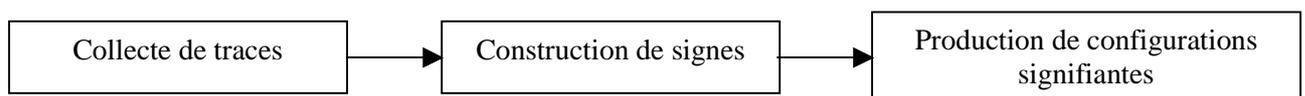
Seuls les enseignants A et B ont accepté les conditions suivantes :

- être filmés 2 séances avec une de leur classe ;
- la première séance concerne la première séance qu'ils font sur l'énergie ;
- la deuxième séance concerne le changement climatique, notamment l'aspect controversé de ce changement ;
- être questionnés avant et après chaque séance sur leur pratique.

10.1.2.3 Vue générale du dispositif de recherche

Il s'agit pour nous d'élaborer un système de recueil de traces, de construction de signes et de production de « configurations signifiantes » sur la pratique ordinaire de deux enseignants (A et B) sur deux contenus différents de savoir (énergie et changement climatique).

Nous distinguons alors trois phases :



Nous détaillons par la suite chacune de ces phases :

- le processus de collecte des traces (10.2) ;
- le processus de construction de signes (10.3) ;
- la production de configurations signifiantes (10.4).

10.2 Un processus de collecte de traces

Nous présentons tout d'abord une vue générale du processus de collecte de traces (10.2.1), puis nous détaillons chaque catégorie de traces :

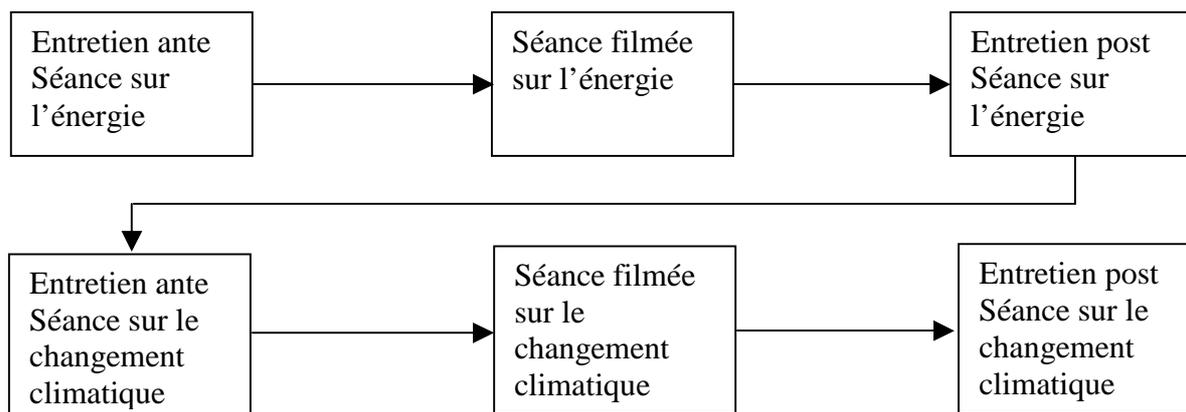
- l'enregistrement vidéo des séances (10.2.2), qui constitue le corpus principal que nous utilisons ;
- l'enregistrement audio des entretiens *ante* et *post* séance avec les 2 enseignants (10.2.3) ;
- les traces annexes (10.2.4).

10.2.1 Vue générale du processus de collecte de traces

Ce processus est constitué d'une séance filmée sur l'énergie, d'une séance filmée sur le changement climatique et d'entretiens *ante* et *post* qui encadrent chaque séance.

Les 2 enseignants A et B sont donc filmés dans 2 séances différentes, avec la même classe.

Nous schématisons ci-dessous le processus mis en place pour chaque classe :



10.2.2 L'enregistrement vidéo des séances

10.2.2.1 Avantages / inconvénients de la vidéo

Les avantages du recours à la vidéo sont multiples. Tout d'abord, les enregistrements vidéo permettent de conserver la totalité des comportements verbaux et non verbaux visibles dans le champ de la caméra. Nous nous intéressons aux échanges verbaux et le recours à la vidéo nous intéresse car il permet d'identifier précisément qui est le locuteur, d'où il parle et avec qui il parle. De plus, nous n'avons pas choisi préalablement un grain d'analyse (comme dans le cas des observations guidées par une grille d'observation), c'est le visionnage multiple des séances qui a conduit à la construction de la grille d'analyse.

Nous ne nous servons pas précisément de tous les éléments disponibles sur les bandes-vidéos dans nos analyses (notamment ceux concernant le non-verbal) mais ils sont porteurs de sens dans l'interprétation que nous pouvons faire des échanges verbaux.

Le principal inconvénient tient à la difficulté d'entrer dans des classes avec une caméra. Une relation de confiance a dû se nouer avec les enseignants filmés pour accéder à leur pratique. De plus, les choix de prise de vue à effectuer sont différents suivant le type de séance (notamment contraints par la disposition de la classe, etc.).

10.2.2.2 Dispositifs d'enregistrement vidéo

Les dispositifs d'enregistrement ont été différents suivant les séances filmées.

Chaque fois, le même matériel a été utilisé :

- une caméra munie d'un grand angle, posée sur un trépied ;
- une caméra posée sur un trépied ;
- deux dictaphones numériques ;
- un appareil-photo numérique qui peut éventuellement filmer de brèves séquences.

Séance de l'enseignant A sur l'énergie (A₁) ; séance de l'enseignante B sur l'énergie(B₁) :

La caméra munie d'un grand angle est fixe : elle est posée sur un trépied dans un coin de façon à filmer les élèves de face.

La deuxième caméra est fixe : elle est posée sur un trépied et filme les élèves « de dos ». Cette caméra suit le déplacement de l'enseignant et zoome éventuellement sur le tableau.
Un dictaphone est posé sur le bureau de l'enseignant. L'autre est posé sur une table au fond de la classe.

Nous illustrons les champs des caméras pour ces 2 séances avec les 2 enseignants :



Enseignant A
Séance énergie (A₁)
Prise de vue de la caméra placée en face des élèves



Enseignant A
Séance énergie (A₁)
Prise de vue de la caméra placée au fond de la salle



Enseignante B
Séance énergie (B₁)
Prise de vue de la caméra placée en face des élèves



Enseignante B
Séance énergie (B₁)
Prise de vue de la caméra placée au fond de la salle

Séance de l'enseignant A sur le changement climatique (A₂)

La salle était très étroite, ce qui fait que la caméra située devant n'enregistrait qu'une faible partie des élèves. Nous avons donc positionné devant les 2 caméras, à chaque coin, pour croiser les champs de façon à filmer l'ensemble des élèves.

Le tableau a été régulièrement photographié et filmé à l'aide d'un appareil photo numérique.

Nous illustrons les champs des caméras pour cette séance :



Enseignant A
Séance climat (A₂)
Prise de vue de la caméra placée en face des élèves
A gauche



Enseignant A
Séance climat (A₂)
Prise de vue de la caméra placée en face des élèves
A droite

Séance de l'enseignante B sur le changement climatique (B₂) :

La caméra munie d'un grand angle est fixe : elle est posée sur un trépied dans un coin de façon à filmer les élèves de face.

La deuxième caméra est fixe : elle est posée sur un trépied et filme les élèves « de dos ». Cette caméra suit le déplacement de l'enseignante.

La particularité de cette séance est que 3 salles de classe sont utilisées. Le choix a été fait de ne pas déplacer les caméras pour ne pas perturber le déroulement de la séance.

Les deux dictaphones ont alors servi à enregistrer le travail effectué dans les 2 salles annexes.

Les caméras ont enregistré les discussions du groupe resté dans la salle principale.

La séance de débat a ensuite été enregistrée de la même façon que les séances A₁ et B₁.

Nous illustrons les champs des caméras pour cette séance :



Enseignante B
Séance climat (B₂)
Prise de vue de la caméra placée en face des élèves



Enseignante B
Séance climat (B₂)
Prise de vue de la caméra placée dans le fond de la classe

10.2.3 Les entretiens avec l'enseignant

Les entretiens ont été enregistrés à l'aide d'un dictaphone numérique.

10.2.3.1 Entretiens ante

Ils visent pour les deux séances filmées à l'analyse a priori des tâches proposées aux élèves et à conforter ou discuter les interprétations faites à partir d'autres données.

Cet entretien consiste alors à avoir des indications sur le contexte d'enseignement, les représentations déclarées de l'enseignant sur l'enseignement, l'apprentissage et la nature de la science, ainsi qu'un éclairage sur la séance à venir (objectifs, tâches, difficultés prévues, chronologie prévue, précisions sur la préparation de la séance).

Nous structurons l'entretien suivant les types de questions posées :

- Des questions sur la perception par l'enseignant du contexte de l'action :

L'objectif est ici de préciser le contexte dans lequel ont lieu les séances en cernant les représentations de l'enseignant sur l'établissement, la classe et les élèves avec lesquels il travaille. Nous nous intéressons en particulier à l'ambiance générale dans l'établissement, à l'existence de projets particuliers dans lesquels la classe pourrait être impliquée, au milieu social des élèves de la classe, à l'ambiance de la classe, aux types d'activités privilégiées par l'enseignant.

- Des questions sur la perception par l'enseignant du métier, de la manière dont il est exercé :

Il s'agit de préciser la représentation qu'a l'enseignant de son métier. Il s'agit ainsi de cerner son expérience professionnelle (certitudes concernant sa pratique, ambition pour lui-même et pour les élèves) et le contexte de la classe et de l'établissement.

- Des questions sur la perception par l'enseignant de l'enseignement de la physique :

Il s'agit ici de préciser les représentations de l'enseignant sur l'enseignement de la physique. Les questions visent donc à documenter le sens que l'enseignant donne à diverses activités spécifiques à l'enseignement de la Physique : la place de l'expérience dans son enseignement, le sens et le statut donnés aux séances de travaux pratiques, la façon dont le cours est structuré, les éléments évalués, la place accordée aux controverses ou débats. Enfin, l'entretien aborde les finalités éducatives sur lequel l'enseignant fonde son enseignement.

- Des questions sur la perception par l'enseignant de l'apprentissage de la physique :

Il s'agit ici de préciser les représentations que l'enseignant a de l'apprentissage des élèves. Les questions posées visent à cerner les théories d'apprentissage qui fondent les situations qu'il propose à ses élèves. Nous entendons donc documenter les représentations de l'enseignant sur les mécanismes par lesquels un élève apprend des savoirs de Physique, sur les choix des situations proposées, sur le statut donné à l'erreur.

- Des questions sur la perception par l'enseignant de la nature de la science :

Il s'agit ici de préciser les représentations de type épistémologique de l'enseignant. Il s'agit alors de questionner l'enseignant sur la nature de la science, la modélisation, la découverte scientifique, la méthode scientifique, le lien sciences-techniques, etc.

- Des questions sur le déroulement de la séance

Il s'agit ici de faire décrire à l'enseignant les différentes tâches qui vont être données aux élèves, ainsi que les éventuels liens avec les séances passées ou à venir. Les objectifs sont explicités, ainsi que les difficultés attendues et la temporalité de chaque activité prévue. Nous tentons à travers cet entretien à ce que l'enseignant exprime la logique qu'il veut mettre en œuvre et l'épistémologie liée au savoir qui la fonde.

10.2.3.2 Entretiens post

Cet entretien, qui a lieu juste après la séance filmée, vise à faire un bilan de la séance observée, par une analyse « à chaud » de son action par l'enseignant.

Cet entretien vise également à avoir des précisions sur le déroulement de la séance, notamment sur sa perception de quelques moments qui nous ont semblés importants lors de l'observation de la séance.

10.2.4 Autres traces

Nous relevons aussi d'autres traces, qui correspondent aux documents fournis aux élèves pendant la séance et aux documents de type institutionnel qui peuvent contraindre l'action (référentiels d'enseignement, documents d'accompagnement).

10.3 Le processus de traitement des traces : la construction de signes

Nous nous intéressons ici plus particulièrement aux enregistrements audio et vidéo des séances qui forment notre corpus principal. Le principe de ce traitement est de réduire progressivement ce corpus, tout d'abord sous forme de transcription (10.3.1), puis d'une mise en narration (10.3.2), synthétisée par un synopsis (10.3.3) qui est développé à un grain très fin (10.3.4). Nous illustrons notre démarche de réduction du corpus sur un exemple. Finalement, nous synthétisons la manière dont nous traitons les traces pour construire des signes (10.3.5).

10.3.1 Une première réduction du corpus audio et vidéo : la transcription

La première phase de réduction du corpus consiste à retranscrire les enregistrements audio et vidéo.

Les entretiens ante et post enregistrés à l'aide d'un dictaphone numérique ne posent généralement pas de problème de transcription.

Les enregistrements vidéo des séances sont plus compliqués à transcrire car le nombre d'acteurs est important, certains sont quelquefois hors du champ des caméras, sont filmés de dos, parlent bas ou bien plusieurs acteurs parlent en même temps.

Nous avons alors eu recours à toutes les sources (deux enregistrements vidéo / audio et deux enregistrements audio) pour limiter les ambiguïtés. Celles-ci concernent alors quelquefois les propos tenus et l'identité des personnes qui les tiennent.

Une fois que la transcription est stabilisée, c'est-à-dire qu'aucune source ne permet de lever davantage les ambiguïtés, le travail est effectué surtout à partir des transcriptions.

10.3.2 La structuration de la séance en thèmes et jeux d'apprentissage

10.3.2.1 Principe de mise en oeuvre

Une deuxième phase de réduction des données consiste à structurer la séance enregistrée en distinguant l'enchaînement des thèmes et jeux. C'est donc une tâche de découpage progressive de granularité de plus en plus fine qui est alors mise en oeuvre.

Nous utilisons la notion de thème, en tant qu'il permet de « structurer le savoir enseigné à l'échelle mésoscopique, par son contenu » (Tiberghien, Malkoun, Buty, Souassy & Mortimer, 2007) et l'enchaînement des thèmes est un indicateur de la chronogénèse dans la séance. Nous reconnaissons un thème à plusieurs indices : les acteurs échangent sur un même contenu scientifique, qui peut être référencé à un savoir institutionnel ; ce contenu est abordé dans une organisation sociale de la classe stable ; les thèmes sont composés d'un ou plusieurs jeux d'apprentissage.

Les jeux d'apprentissage sont identifiés par un enjeu de savoir et une règle du jeu : ils sont donc liés à la fois à la cohérence d'un thème et aussi à la manière dont le jeu est organisé (tâches des élèves). Nous avons choisi un grain très fin, qui fait que les jeux ont souvent une durée de quelques minutes et les avons nommé par un verbe d'action décrivant le jeu que les élèves doivent jouer.

La part d'interprétation dans ce découpage en thèmes et jeux est donc ici importante (Venturini, 2012).

Pour faciliter ce premier découpage, un point de vue narratif est adopté : il correspond alors à une mise en narration ou « mise en intrigue » didactique de la séance (Marlot, 2008), dans laquelle la perspective prise est liée à une description de l'action conjointe, permettant de retracer la chronogénèse des savoirs institutionnalisés et l'activité des élèves.

10.3.2.2 Exemple d'application

Nous découpons de la manière suivante les 5 premières minutes de la séance de l'enseignant A sur le climat (Séance A₂) à partir de la transcription :

Les élèves entrent dans la salle et s'installent.

L'enseignant leur fait face (0 :00)

- | | |
|--|---|
| 1. E : | Bonjour aussi donc on va commencer par je vais vous distribuer un document et donc vous allez me dire qu'est-ce que vous en pensez en fait d'accord |
| 2. élève : | XXXXX |
| 3. E : | allez Mélissa |
| <i>L'enseignant distribue le polycopié</i> | |
| 4. E : | alors qu'est-ce que ça vous évoque ce document ? |
| 5. Maxime et Mélissa : | une bombe |
| 6. E : | une bombe ouais c'est-à-dire |
| 7. Marylène : | climatique |
| 8. E : | climatique donc ça veut dire quoi qu'est-ce que ça vous évoque |

9. élève :	faut qu'on se dépêche
10. Romain :	nous sommes assis sur une bombe
11. E :	c'est nous sommes assis Romain sur
12. Romain et ?? :	une bombe
13. E :	une bombe c'est-à-dire
14. élève :	bah c'est la terre
15. Marylène :	parce qu'il fait chaud
16. Lorraine :	XXXXXXXXXXXX
17. E :	oui c'est la Terre et pourquoi alors c'est une bombe la Terre
18. Laura :	bah à cause du climat elle va bientôt exploser
<i>(Rires)</i>	
19. E :	oui alors pourquoi elle va bientôt exploser à cause du climat parce que
20. Léa :	parce qu'elle chauffe
21. Romain :	si on s'en occupe mal
22. E :	parce que
23. Romain :	parce qu'on s'en occupe mal
24. Corentin :	l'effet de serre
25. Elodie :	réchauffement climatique
26. E :	oui réchauffement climatique (1:10) alors j'aimerais que vous là ce que vous m'avez un peu cité que vous veniez au tableau marquer des expressions ou des schémas que vous évoque donc la bombe climatique le réchauffement Laura non un schéma ?
27. Corentin :	un schéma ?
28. E :	un schéma ou des mots des expressions un mot clé qui vous vient quand on parle de bombe climatique réchauffement tout ça
29. Corentin :	énergie verte
30. E :	oui Laura donc alors
31. Laura :	je sais pas comment on écrit ozone
32. Collectif :	O Z O N E
33. E :	okay donc O Z O N E
34. Corentin :	c'est un Z ?
35. Laura :	mais oui
36. E :	d'accord couche d'ozone allez quelqu'un d'autre enchaîne oui Lorraine d'accord fonte des glaciers quelqu'un d'autre oui Camille change de stylo parce que je vois pas bien moi CO ₂ c'est ça que tu as mis
37. Corentin :	en augmentation
38. E :	donc CO ₂ augmente d'accord Joël très bien on va voir
39. Mélissa :	effet de serre
40. Romain :	ouais
41. E :	effet de serre d'accord quelqu'un a une autre idée il y a un mot qui vous vient une expression un schéma quelque chose non rien d'autre (3:04) okay donc on va parler aujourd'hui donc justement on parle de bombe climatique on va voir pourquoi donc certains l'ont évoqué là très bien ce que disait Laura tout à l'heure une bombe climatique on a l'impression qu'on est sur quelque chose qui va exploser alors pourquoi on dit ça donc le but de la séance ça va être de voir quels sont en fait les paramètres qui influent sur ce soit-disant ce qu'on entend changement climatique de quoi ça parle qu'est-ce qui est en jeu et en quoi la science peut apporter des réponses en fait à ces problèmes d'accord donc on va voir ça tout de suite donc vous pouvez prendre une feuille en fait donc ça va être un cours un peu différent on va parler du changement climatique et de ce qui a en jeu quand on parle de changement climatique d'accord donc vous prenez une feuille à part donc on va essayer du coup de parler de ce que vous avez mis comme mots-clés donc couche d'ozone on l'a évoqué fonte des glaciers CO ₂ qui augmente et effet de serre donc on va en reparler au long de ce cours
42. Romain :	c'est de la chimie
43. E :	donc c'est un chapitre un peu à part en fait ça vient en fait en aboutissement de toutes les notions d'énergie depuis le début c'est comment un peu on peut voir toutes les notions d'énergie tout ce qu'on a vu par rapport à ce problème de changement climatique en fait donc il va s'intituler donc ce cours changement climatique (4:39)

Il s'agit ici pour l'enseignant d'introduire le changement climatique en tant qu'objet et problématique de la séance (Thème n°1 : le problème du changement climatique).

La mise en narration concernant cet extrait est alors :

- Thème n°1 : Le problème du changement climatique

L'enseignant distribue aux élèves un dessin représentant la Terre comme une « bombe ». Les élèves doivent se prononcer sur le sens à donner au dessin : une élève propose le terme de « bombe climatique », un autre « réchauffement climatique » (0 :00 à 1 :10).

L'enseignant propose alors aux élèves volontaires d'aller au tableau pour associer des mots ou expressions à « bombe climatique » ou « réchauffement climatique » (1 :10 à 3 :04).

Il instaure ensuite la prise de notes : le titre du chapitre (« le changement climatique ») est écrit au tableau et l'objectif de la séance est défini (étudier les facteurs influençant le changement climatique et les solutions que la science peut apporter) (3 :04 à 4 :39).

Cet extrait du thème n°1 peut par conséquent se diviser en trois jeux d'apprentissage :

- Décrire et interpréter un document (de 0 :00 à 1 :10) ;
- Associer des mots ou expressions à « bombe climatique » (de 1 :10 à 3 :04) ;
- Ecrire le titre de la séance (de 3 :04 à 4 :39).

10.3.3 La construction d'un synopsis

10.3.3.1 Principe de mise en oeuvre

La structuration précédente a l'avantage de remettre rapidement un jeu (ou un thème) dans son contexte, c'est-à-dire au sein de l'histoire didactique à laquelle il participe.

Toutefois, l'idée est ici d'avoir un panorama de la succession des seuls thèmes et jeux. La mise en narration disparaît alors dans le synopsis pour laisser place à une structuration de la séance avec une première catégorisation : seuls les thèmes et jeux apparaissent, les temps et tours de parole, l'organisation sociale de la classe.

Ce travail est fait à partir de la transcription, éventuellement de la vidéo, et de la mise en intrigue précédente.

10.3.3.2 Exemple d'application

Nous reprenons ici alors notre exemple précédent. A partir de la vidéo, nous décrivons la forme d'organisation de la classe (l'enseignant s'exprime devant toute la classe, nous appelons cette forme d'organisation : en classe entière). Nous reprenons la structuration obtenue à partir de la mise en intrigue.

Le synopsis correspondant à l'extrait précédent est alors :

Thème	Temps	Tour de paroles	Jeux d'apprentissage	Organisation sociale de la classe
Thème n°1 Le problème du changement climatique	(0:00)→ (1:10)	1→26	Décrire et interpréter un document	Classe entière
	(1:10)→ (3:04)	26→41	Associer des mots ou expressions à « bombe climatique »	Élève au tableau
	(3:04)→ (4:39)	41→43	Ecrire le titre de la séance	Classe entière

10.3.4 La construction d'un synopsis à un grain plus fin (découpage en épisodes)

Nous détaillons ici la manière dont nous développons le synopsis précédent à un grain plus fin. Nous explicitons tout d'abord le principe de découpage micro qui nous guide dans la mise en œuvre (10.3.4.1), puis nous développons l'aide logicielle (Transana) qui nous permet d'attribuer des mots-clés à des épisodes micro (10.3.4.2). Nous construisons alors le synopsis à l'échelle micro de notre exemple précédent, dans le but d'illustrer notre démarche (10.3.4.3).

10.3.4.1 Principe de mise en oeuvre

Chaque jeu d'apprentissage fait ensuite l'objet d'une analyse plus fine. Il s'agit ainsi pour le chercheur de découper en unités de sens d'une granularité plus fine chaque jeu d'apprentissage. Ces unités de sens sont alors appelées épisodes. Leur durée peut aller de quelques secondes à plusieurs minutes. Ils correspondent à une description « fine » de la dynamique d'un jeu d'apprentissage. Ce découpage nécessite alors des outils de description de l'action, dont les transformations au cours d'un jeu vont être autant de ruptures dans le déroulement du jeu.

Nous appelons alors synopsis à l'échelle des épisodes ce découpage de la séance à l'échelle des épisodes.

Autrement dit, d'un point de vue de la méthode utilisée, le synopsis à l'échelle des épisodes se construit par découpage de la séance en épisodes et nécessite de catégoriser l'action à l'aide de descripteurs de l'action, qui vont permettre à la fois de décrire les épisodes et de signaler les ruptures entre épisodes (Venturini & Amade-Escot, 2012). Ce sont en effet les changements dans les descripteurs qui amènent le découpage en épisodes. Cette temporalité de la méthode est toutefois complexe : l'interprétation se construit dans un travail de va-et-vient entre la bande vidéo, la transcription et les descripteurs définis qui permet une stabilisation à la fois dans le découpage en épisodes et dans l'indexation des descripteurs qui permettent la description de l'action.

Nous avons donc utilisé un logiciel pour nous aider dans cette tâche : Transana.

10.3.4.2 L'aide logicielle pour la catégorisation :

Transana

Nous présentons le logiciel (10.3.4.2.1), puis catégorisons (10.3.4.2.2) et définissons l'ensemble des mots-clés qui nous ont servi pour le codage (10.3.4.2.3).

10.3.4.2.1 Fonctionnement de Transana

Transana est un logiciel développé par l'Université de Wisconsin (USA) qui permet de traiter des fichiers numériques audio ou vidéo.

Transana permet un découpage temporel du fichier en épisode et chaque épisode peut être classé dans une banque de données et associé à différents mots-clés définis par l'utilisateur.

Il permet alors de visualiser l'évolution temporelle de chaque mot-clé sur la durée du fichier ou bien d'afficher les statistiques d'occurrence du mot clé, suivant le nombre d'épisodes ou bien suivant la durée sommée des épisodes auxquels il est associé.

10.3.4.2.2 Indexation de mots-clés

Nous avons défini plusieurs catégories de mots-clés sur Transana, en suivant les cadres théoriques que nous utilisons, et en les complétant inductivement si besoin :

- Cadre de la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) :
 - o Le triplet méso/topo/chrono-génèse ;
 - o Le quadruplet : définir / dévoluer / réguler / institutionnaliser ;
- Cadre de l'approche communicationnelle :
 - o Les types d'activité (renommés organisation sociale du jeu) ;
 - o Les formes de communication de type interactif / non-interactif ;
 - o Les formes de communication de type dialogique / authoritative.
- Cadre des modèles de discours :
 - o Les types d'interaction ;
 - o Les acteurs et les initiateurs de l'interaction.
- Cadre des jeux de langage de Wittgenstein :
 - o Les types d'énoncés (grammatical / empirique).

Chaque catégorie comprend des mots-clés que nous définissons dans l'utilisation que nous en faisons. Nous détaillons par la suite les définitions « pratiques » que nous prenons pour chaque mot-clé utilisé.

10.3.4.2.3 Mots-clés issus de la TACD

Nous nous référons ici aux travaux de Venturini & Tiberghien (2012).

Nous prenons le libellé des mots-clés tels que nous les avons écrits dans Transana. Ce sont donc le plus souvent des abréviations ou des expressions tronquées.

10.3.4.2.3.1 Mots-clés pour la mésogénèse⁹¹

- Désignation d'un trait ou objet pertinent :

L'enseignant prend un élément du milieu qui lui est signifiant : c'est son approfondissement qui participe à la mésogénèse.

- Introduction objet-s dans milieu par l'enseignant :

L'enseignant introduit un objet dans le milieu : cet objet peut être matériel ou conceptuel (un « mot – concept »).

- Introduction objet-s dans milieu par l'élève :

L'élève introduit un objet dans le milieu: cet objet peut être matériel ou conceptuel (un « mot – concept »).

- Reprise neutre d'un objet introduit par l'élève :

⁹¹ Voir 7.2.1.3, p. 100, pour un rappel théorique.

L'enseignant reprend un objet introduit par l'élève dans le milieu mais sans lui accorder d'autre importance que celle de participer au milieu.

- Introduction d'un objet « conclusif » par l'enseignant :

L'enseignant introduit un objet qui fait avancer la chronogénèse et facilite l'institutionnalisation.

- Préciser les règles du jeu :

L'enseignant précise les règles du jeu : cette précision réorganise la mésogénèse.

- Reprise d'un objet introduit par l'enseignant :

L'élève reprend un objet introduit par l'enseignant dans le milieu.

- Reprise d'un objet parmi plusieurs proposées par des élèves :

L'enseignant sélectionne un élément introduit dans le milieu par l'élève parmi plusieurs.

- Rejet d'un objet du milieu par l'enseignant :

L'enseignant considère comme non pertinent pour la mésogénèse un objet introduit par un élève.

- Reprise différée d'un objet introduit par un élève :

L'enseignant se sert d'un objet qu'un élève a introduit dans le milieu hors du contexte dans lequel il a été introduit par l'élève (temps de la séance).

L'enseignant signifie qu'il reprendra plus tard un terme introduit par un élève dans le milieu (temps de la séquence).

10.3.4.2.3.2 Mots-clés pour la topogénèse⁹²

- Topogénèse enseignant :

C'est l'enseignant qui fait avancer le savoir : c'est lui qui impose les objets signifiants du milieu.

- Topogénèse élève :

C'est l'élève qui fait avancer le savoir : l'élève a la liberté d'introduire ce qui lui semble signifiant dans le milieu.

- Topogénèse mixte :

C'est une construction conjointe où la topogénèse est partagée entre l'enseignant et les élèves.

10.3.4.2.3.3 Mots-clés pour la chronogénèse⁹³

- Arrêt :

La topogénèse est qualifiée d' « arrêtée » quand la structuration des savoirs n'avance pas. C'est par exemple souvent le cas des phases de définition des jeux ou bien quand les élèves échangent entre eux sans que l'enseignant n'intervienne. Il s'agit d'un descripteur utilisé de manière très qualitative.

⁹² Voir 7.2.1.4.2, p. 102.

⁹³ Voir 7.2.1.4.1, p. 102.

- Lente :

La topogénèse est qualifiée de « lente » quand la structuration des savoirs avance lentement. Les principaux éléments du savoir en jeu sont dans le milieu mais pas structurés entre eux. Il s'agit d'un descripteur utilisé de manière très qualitative.

- Rapide :

La topogénèse est qualifiée de « rapide » quand la structuration des savoirs avance rapidement. Les éléments du milieu se structurent de façon à prendre leur forme « institutionnalisée ». Il s'agit d'un descripteur utilisé de manière très qualitative.

10.3.4.2.3.4 Mots-clés pour les techniques didactiques⁹⁴

- Définir :

L'enseignant définit implicitement ou explicitement les règles du jeu qui va / est en train d'être joué.

- Dévoluer :

L'enseignant répartit les rôles des élèves dans le jeu : il contribue ainsi à les faire accepter de jouer.

- Réguler :

L'enseignant régule le jeu : il se comporte comme un « maître de jeu », il organise les tours de jeu, les tours de parole, il interagit avec les élèves, régule les échanges et le milieu.

- Institutionnaliser :

L'enseignant institutionnalise les savoirs en jeu.

10.3.4.2.4 Mots-clés issus de l'approche communicationnelle

10.3.4.2.4.1 Mots-clés pour les formes d'organisation sociale du travail en classe

Nous avons repris les mots-clés utilisés par Tiberghien et al. (2007) et Seck (2008), en les complétant par induction à partir du corpus.

- Travail en classe entière :

La classe est organisée « en classe entière » avec l'enseignant qui fait face aux élèves.

- Travail individuel :

Les élèves travaillent individuellement à leur place.

- Travail de groupe :

Les élèves travaillent par groupes.

- Exposé :

Un groupe d'élèves expose à d'autres élèves le travail fait.

⁹⁴ Voir 7.2.2.2, pp. 104-105.

- Elève au tableau :
Un élève seul est au tableau.

- Expérience :
La classe est organisée autour d'une expérience unique « de démonstration ».

10.3.4.2.4.2 Mots-clés pour la forme Interactif / Non-interactif de la communication⁹⁵

- Interactif :
L'enseignant échange avec les élèves ou bien les élèves échangent entre eux.

- Non-interactif :
Seul l'enseignant parle.

10.3.4.2.4.3 Mots-clés pour la forme Dialogique / Autoritative de la communication⁹⁶

- Dialogique :
Plusieurs perspectives sur le savoir en jeu sont développées dans l'espace public. Le spectre peut aller de la simple répétition des paroles d'élèves à la discussion complète de points de vue alternatifs.

- Autoritative :
Un point de vue unique est développé dans les échanges.

10.3.4.2.5 Mots-clés issus des modèles de discours⁹⁷

- Interaction enseignant – élève :
L'interaction est entre l'enseignant et un ou plusieurs élèves.

- Interaction élève – élève :
L'interaction est entre les élèves.

- I-R sens enseignant → élève :
L'enseignant initie l'interaction : un élève répond sans évaluation de l'enseignant. L'enseignant ignore la réponse de l'élève ou bien autorise l'intervention à entrer dans le milieu sans lui attacher une signification précise.

- I-R-E sens enseignant → élève :
L'enseignant lance une interaction : l'élève répond et l'enseignant évalue la réponse (vrai / faux).

- I-R-P sens enseignant → élève :

⁹⁵ Voir 8.2.2.2.2, p. 121.

⁹⁶ Voir 8.2.2.2.1, p. 120

⁹⁷ Voir 8.2.3.1, p. 122.

L'enseignant initie une interaction : l'élève répond et l'enseignant relance par une question pour approfondir la réponse ou aller plus loin dans le questionnement.

- I-R complexe sens enseignant → élève :

L'enseignant initie une interaction : l'interaction est complexe car plusieurs élèves échangent. C'est l'enseignant qui est à l'initiative de l'interaction.

- I-R complexe sens élève → élève :

Interaction lancée par les élèves et qui fait débat : construction collective. L'enseignant n'intervient alors que pour réguler les débats.

10.3.4.2.6 Mots-clés issus du cadre des jeux de langage de Wittgenstein⁹⁸

Nous tentons ici de catégoriser les énoncés en distinguant leur type :

- Énoncé de langage courant :

L'énoncé relève du langage du quotidien, en tant que registre d'appartenance social.

- Énoncé de type grammatical :

L'énoncé est un énoncé scientifique en tant que c'est un énoncé spécifique à la communauté scientifique. Il est alors qualifié de grammatical quand il donne des règles d'utilisation des mots, comme par exemple les règles de description des phénomènes empiriques.

- Énoncé de type empirique :

C'est un énoncé scientifique qui s'exprime dans une grammaire et qui décrit des phénomènes empiriques.

10.3.4.3 Exemple d'application

L'analyse permet un découpage de chaque jeu d'apprentissage en épisodes, caractérisés par un ensemble de mots-clés. Les changements dans les mots-clés induisent un changement d'épisode.

Nous donnons ci-dessous un exemple de découpage en épisode et d'indexation de mots-clés sur l'extrait précédemment choisi (10.3.4.3.1). Enfin, nous présentons le synopsis à l'échelle microscopique lié à cet extrait (10.3.4.3.2).

10.3.4.3.1 Découpage en épisodes et indexation de mots-clés

Nous découpons l'extrait précédent à partir de la transcription. Un travail identique est effectué à l'aide du logiciel Transana.

Les élèves entrent dans la salle et s'installent.

L'enseignant leur fait face (0 :00)

1. E : Bonjour aussi donc on va commencer par je vais vous distribuer un document et donc vous allez me dire qu'est-ce que vous en pensez en fait d'accord

⁹⁸ Nous distinguons énoncés de langage courant et énoncés scientifiques en suivant la deuxième dimension de l'analyse communicationnelle liée au contenu de l'interaction (voir 8.2.1.2, pp. 118-119). Nous distinguons parmi les énoncés scientifiques ceux qui sont empiriques et ceux qui sont grammaticaux (voir 8.3.1.3, p. 124).

2. élève :	XXXXXX
3. E :	allez Mélissa
<i>L'enseignant distribue le photocopié</i>	
4. E :	alors qu'est-ce que ça vous évoque ce document ? (0 :47)
5. Maxime et Mélissa :	une bombe
6. E :	une bombe ouais c'est-à-dire
7. Marylène :	climatique
8. E :	climatique donc ça veut dire quoi qu'est-ce que ça vous évoque
9. élève :	faut qu'on se dépêche
10. Romain :	nous sommes assis sur une bombe
11. E :	c'est nous sommes assis Romain sur
12. Romain et ?? :	une bombe
13. E :	une bombe c'est-à-dire
14. élève :	bah c'est la terre
15. Marylène :	parce qu'il fait chaud
16. Lorraine :	XXXXXXXXXXXX
17. E :	oui c'est la Terre et pourquoi alors c'est une bombe la Terre
18. Laura :	bah à cause du climat elle va bientôt exploser
<i>(Rires)</i>	
19. E :	oui alors pourquoi elle va bientôt exploser à cause du climat parce que
20. Léa :	parce qu'elle chauffe
21. Romain :	si on s'en occupe mal
22. E :	parce que
23. Romain :	parce qu'on s'en occupe mal
24. Corentin :	l'effet de serre
25. Elodie :	réchauffement climatique
26. E :	oui réchauffement climatique (1 :10) alors j'aimerais que vous là ce que vous m'avez un peu cité que vous veniez au tableau marquer des expressions ou des schémas que vous évoque donc la bombe climatique le réchauffement Laura non un schéma ?
27. Corentin :	un schéma ?
28. E :	un schéma ou des mots des expressions un mot clé qui vous vient quand on parle de bombe climatique réchauffement tout ça (1 :30)
29. Corentin :	énergie verte
30. E :	oui Laura donc alors
31. Laura :	je sais pas comment on écrit ozone
32. Collectif :	O Z O N E
33. E :	okay donc O Z O N E
34. Corentin :	c'est un Z ?
35. Laura :	mais oui
36. E :	d'accord couche d'ozone allez quelqu'un d'autre enchaîne oui Lorraine d'accord fonte des glaciers quelqu'un d'autre oui Camille change de stylo parce que je vois pas bien moi CO ₂ c'est ça que tu as mis
37. Corentin :	en augmentation
38. E :	donc CO ₂ augmente d'accord Joël très bien on va voir
39. Mélissa :	effet de serre
40. Romain :	ouais
41. E :	effet de serre d'accord quelqu'un a une autre idée il y a un mot qui vous vient une expression un schéma quelque chose non rien d'autre (3 :04) okay donc on va parler aujourd'hui donc justement on parle de bombe climatique on va voir pourquoi donc certains l'ont évoqué là très bien ce que disait Laura tout à l'heure une bombe climatique on a l'impression qu'on est sur quelque chose qui va exploser alors pourquoi on dit ça donc le but de la séance ça va être de voir quels sont en fait les paramètres qui influent sur ce soit-disant ce qu'on entend changement climatique de quoi ça parle qu'est-ce qui est en jeu et en quoi la science peut apporter des réponses en fait à ces problèmes d'accord donc on va voir ça tout de suite donc vous pouvez prendre une feuille en fait donc ça va être un cours un peu différent on va parler du changement climatique et de ce qui a en jeu quand on parle de changement climatique d'accord donc vous prenez une feuille à part donc on va essayer du coup de parler de ce que vous avez mis comme mots-clés donc couche d'ozone on l'a évoqué fonte des glaciers CO ₂ qui augmente et effet de serre donc on va en reparler au long de ce cours

42. Romain :	c'est de la chimie
43. E :	donc c'est un chapitre un peu à part en fait ça vient en fait en aboutissement de toutes les notions d'énergie depuis le début c'est comment un peu on peut voir toutes les notions d'énergie tout ce qu'on a vu par rapport à ce problème de changement climatique en fait donc il va s'intituler donc ce cours changement climatique (4 :39)

On découpe les trois jeux en épisodes, que l'on décrit en utilisant des mots clés.

- On découpe le jeu 1 en deux épisodes :

Episode 1a : (0 :00)→(0 :47) ;

L'enseignant distribue un document (mésogénèse : l'enseignant introduit un objet dans le milieu) et définit le jeu : technique définir (le fait d'indiquer la tâche) et dévoluer (le fait que les élèves jouent par la suite).

La topogénèse est alors du côté de l'enseignant : Topogénèse enseignant.

La chronogénèse est alors arrêtée car aucun savoir est mis en avant : Chronogénèse arrêtée.

L'activité est en classe entière et l'épisode est non interactif (NI).

Les énoncés sont ici ceux du langage courant.

Episode 1b : (0 :47)→(1 :10)

Les élèves introduisent des éléments dans le milieu (« une bombe », « faut qu'on se dépêche », etc.)

La topogénèse est plutôt du côté des élèves car ils sont les seuls à introduire des éléments dans le milieu.

La chronogénèse est lente car le milieu prend forme autour d'un savoir potentiel : l'urgence exprimée par les élèves.

L'enseignant régule le milieu en reprenant des objets introduits par les élèves : la forme de communication est alors interactive, entre l'enseignant et les élèves, de type I-R-P car l'enseignant rebondit sur les réponses des élèves mais également de type I-R complexe (à l'initiative de l'enseignant) car plusieurs élèves interviennent avant la réaction de l'enseignant et s'appuient sur ce qu'a dit autre élève (interaction élève – élève).

La forme d'organisation est toujours en classe entière.

Les énoncés sont ici ceux du langage courant.

- De même, le jeu 2 est découpé en 2 épisodes :

Episode 2a : (1 :10)→(1 :30)

L'enseignant définit alors un nouveau jeu en introduisant dans le milieu la possibilité de faire un schéma ou d'écrire une expression (mésogénèse : l'enseignant introduit un objet dans le milieu). Il dévolue le jeu en ajoutant une nouvelle possibilité plus accessible pour les élèves : ils peuvent écrire un mot-clé.

La topogénèse est du côté de l'enseignant (Topogénèse enseignant) et la chronogénèse est arrêtée (Chronogénèse arrêtée).

L'épisode est non-interactif.

La forme d'organisation est toujours en classe entière.

Les énoncés sont ici ceux du langage courant.

Episode 2b : (1 :30)→(3 :04)

Certains élèves vont au tableau pour écrire un mot ou une expression : ce sont donc eux qui introduisent des éléments dans le milieu (mésogénèse : les élèves introduisent un objet dans le milieu).

La topogénèse est du côté des élèves (Topogénèse élève) et la chronogénèse est arrêtée (Chronogénèse arrêtée).

L'enseignant reprend un objet introduit par un élève (mésogénèse) et régule le milieu.

L'épisode est interactif, les interactions ont lieu entre l'enseignant et les élèves, et entre les élèves. Les interactions sont de type I-R-E, initiées par l'enseignant.

La forme de communication est ici dialogique (D) car de nombreux points de vue sont exprimés publiquement.

La forme d'organisation est élève au tableau.

Les énoncés sont ici ceux du langage courant.

- Enfin le troisième jeu est constitué d'un seul épisode : c'est un moment d'institutionnalisation.

Episode 3 : (3 :04)→(4 :39)

C'est l'unique épisode du jeu 3.

L'enseignant institutionnalise ce qui a été dit : il introduit alors un élément dans le milieu (écriture du titre). Cet énoncé est un énoncé de langage courant (LC).

L'épisode est non-interactif et autoritative (A).

La topogénèse est du côté enseignante et la chronogénèse est rapide.

La forme d'organisation est en classe entière.

10.3.4.3.2 Synopsis à l'échelle des épisodes

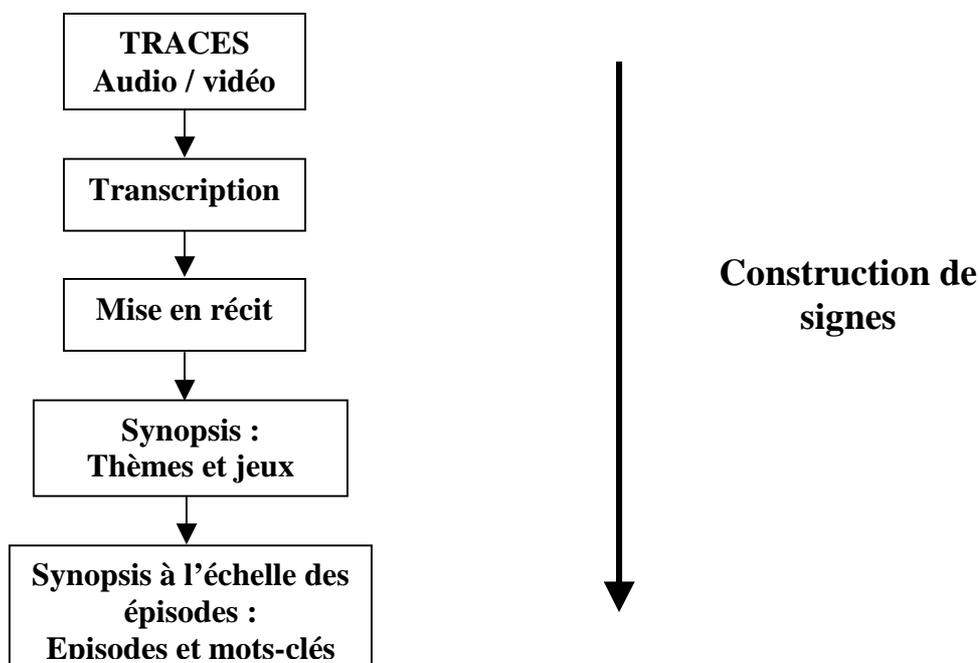
Nous pouvons alors traduire dans un tableau les descriptions précédentes : ce tableau correspond alors au synopsis à l'échelle des épisodes analysés :

Thème	Jeu d'apprentissage	Episode	Temps	Triplet	Techniques	Interactions	Organisation de la classe / énoncé
Thème n°1 Le problème du changement climatique	1. Décrire et interpréter le document « machin »	1a Consignes	(0:00) → (0:47)	Méso : E distribue un document Topo : E ; Chrono : arrêt	Définir Dévoluer	NI	classe entière / Langage Courant
		1b Propositions des élèves	(0:47) → (1:10)	Méso : les élèves expliquent l'image Topo : élève ; chrono : lent	Réguler	A / I I-R-P (E→e) I-Rcompl (E→e)	classe entière / Langage Courant
	2. Associer des mots ou expressions à « bombe climatique »	2a Consignes	(1:10) → (1:30)	Méso : E donne les consignes Topo : E ; Chrono : arrêt	Définir Dévoluer	NI	classe entière / Langage Courant
		2b Au tableau	(1:30) → (3:04)	Méso : les élèves proposent des expressions au tableau Topo : élève ; Chrono : arrêt	Réguler	D/I I-R-E (E→e) Interaction (e-e)	Elève au tableau / Langage courant
	3. Ecrire le titre de la séance	3. Institutionnalisation du thème n°1	(3:04) → (4:39)	Méso : E donne le titre et les objectifs de la séance Topo : E ; Chrono : rapide	Institutionnaliser	A/NI	classe entière / Langage Courant

Le synopsis à l'échelle des épisodes rassemble par conséquent différents signes permettant de décrire l'action conjointe.

10.3.5 Vue générale du traitement des traces

Nous schématisons le processus de traitement des traces vidéo et audio. Chaque nouvelle phase prend en compte les précédentes. C'est ainsi que par exemple, le synopsis à l'échelle des épisodes est construit par un va et vient entre les données vidéo / audio, la transcription, la mise en récit et le synopsis macro.



10.4 La production de configurations signifiantes : un jeu de langage du chercheur

Il convient alors dans cette phase où la partie « interprétative » du chercheur est la plus importante de clarifier notre posture de chercheur (10.4.1). Nous détaillons alors les principes de mise en œuvre de production de configurations signifiantes (10.4.2) puis développons sur un exemple notre manière de travailler (10.4.3) et distinguons les configurations signifiantes que nous explorons (10.4.4).

10.4.1 Posture du chercheur

Il nous semble important de clarifier notre posture de chercheur. Nous sommes conscients en effet que des éléments de notre subjectivité jouent un rôle important dans le processus de recherche, dans la structuration en thèmes et en jeux, comme dans l'indexation des mots-clés (Venturini, 2012). Nous estimons que la production de configurations signifiantes « amplifie » la part subjective car celle-ci se fonde sur les traces traitées et les intègre en un récit unique, qui est fait dans notre jeu de langage de chercheur.

10.4.1.1 Point de vue épistémologique sur la méthodologie utilisée

Nous fondons notre démarche sur la tradition de l'herméneutique (Dilthey, Merleau-Ponty, Ricœur par exemple). Selon cette approche, l'homme est engagé dans un « cercle herméneutique » : sa connaissance porte sur un monde considéré comme prédonné mais cette connaissance est elle-même un événement du monde. La prise de conscience de cette circularité révèle un *entre-deux* : la connaissance n'est ni une connaissance désincarnée sur le monde, ni une connaissance sur un monde qu'elle crée, elle est participation au monde, tout comme le monde participe à la connaissance. C'est en outre par l'examen de la corporéité que la circularité est perçue : le corps est à la fois le lieu de l'expérience du vécu et le lieu de la cognition. Dans ce cadre, nous pouvons affirmer que *nous participons*, en tant qu'être humain, à toutes les étapes du processus de recherche : notre processus de recherche affecte les acteurs dont nous étudions l'action, il affecte le monde dans lequel il se déroule et il nous affecte également en tant que personne humaine.

Cette recherche vise à décrire l'action et en comprendre quelques ressorts : « la saisie de productions symboliques suppose *un accès interne* aux systèmes de significations qui les sous-tendent. Cette possibilité réside dans le fait que l'interprète est lui-même un être symbolique, participant de la même humanité que celui ou ceux qui produisirent ce qu'il tente de comprendre (p. 19)» (Zaccai-Reyners citée par Schurmans⁹⁹, 2006, p. 35). Le langage est alors fondamental car « le fait que les expériences vécues, élaborées dans un cadre social, soient exprimées par le langage les rend communicables et, par là, objets de confrontation, de négociation, de rectification » (Schurmans, 2006, p. 39).

Si nous complétons donc notre méthode de construction de signes par une analyse plus fine des jeux de langage joués dans l'action conjointe, cette analyse ne peut être qu'écrite dans notre propre jeu de langage.

Nous devons donc poursuivre plus loin l'expression des éléments de subjectivité qui participent à cette écriture.

10.4.1.2 Point de vue éthique

Nous soulevons ici la dimension éthique qu'engage notre posture.

Notre travail de formateur d'enseignants est nécessairement impliqué dans notre approche de chercheur. Il nous semble impossible d'être complètement schizophrène sur cette question.

Quelques principes guident tout de même notre travail de recherche.

Tout d'abord, nous sommes vigilants à ne pas confondre les deux regards. Alors que le formateur observe l'action de l'enseignant pour lui restituer des points d'amélioration de sa pratique (point de vue normatif), nous avons essayé de ne pas juger à l'aune d'une norme la pratique observée. Notre regard essaie donc de ne pas se focaliser sur les points qui pourraient « éveiller » le formateur, pour restituer plutôt à la communauté de chercheurs ce qu'une pratique a d'ordinaire, indépendamment de ce qui pourrait être souhaitable.

Ce point de vue a donc des conséquences sur notre description de l'action. Nous avons essayé de ne pas focaliser notre description de la pratique sur les difficultés que pourrait avoir un enseignant dans sa pratique ou les éventuelles erreurs qu'il pourrait commettre.

⁹⁹ Zaccai-Reyners, N. (éd.) (2003). *Explication – compréhension. Regards sur les sources et l'actualité d'une controverse épistémologique*. Bruxelles : Ed. de l'Université.

Le corollaire éthique de ce point de vue consiste à respecter la participation de l'enseignant à la recherche : nous étudions donc une pratique professionnelle, dans laquelle le professionnel est l'enseignant et non le formateur/chercheur.

10.4.1.3 Point de vue sur les savoirs

Nous estimons que le savoir « énergie » ne pose a priori pas question sur notre posture¹⁰⁰. Il n'en va pas de même sur le changement climatique. Il nous semble important de faire un point sur ce que nous pensons de ce savoir « vif ».

Notre point de vue a en effet changé au cours du travail de recherche.

Nous n'avions pas un intérêt spécial pour la question du changement climatique avant de démarrer ce travail. Au début de la recherche, nous étions plutôt sceptiques sur la possibilité de la science à rendre compte du fonctionnement du climat et des conséquences de l'activité humaine, notamment par les possibilités de simulation des ordinateurs d'un ensemble aussi complexe que le climat. Ce scepticisme nous amenait à développer des pensées plutôt critiques sur le GIEC et son expertise. Au fur et à mesure de notre intérêt pour la question, nous avons conservé l'idée d'une dimension démesurée de la tâche (*hybris* du scientifique), de l'imperfection des modélisations du climat, mais les recherches sur le fonctionnement du GIEC nous ont amené à davantage critiquer les positions anti-GIEC. Aujourd'hui, nous sommes convaincus par la position du GIEC sur la responsabilité de l'homme sur le changement climatique mais restons encore sceptiques sur la place des modélisations dans la construction de « la preuve ».

10.4.1.4 Point de vue sur la science

Nous adhérons à l'approche de la sociologie des sciences qui a mis en avant que la science est autant une activité sociale qu'individuelle, régulée par des normes et des conventions qui évoluent. Nous ne séparons pas techniques et sciences car nous pensons que les deux, sans être réductibles les unes aux autres, sont dans les faits extrêmement liées (la machine est une synthèse réalisée d'expériences scientifiques ; une expérience scientifique est une combinaison de techniques). Enfin, nous pensons que les faits *inventés* par les scientifiques sont évolutifs et ne deviennent réels que par accord intersubjectif de la communauté.

Notre point de vue sur les technosciences est également un mélange entre technophilie (un certain émerveillement pour le développement scientifique et technique actuel) et technophobie (une peur vis à vis des changements sociaux et de notre humanité dans un monde de plus en plus technoscientifique).

10.4.2 Principe de mise en œuvre de la production de configurations signifiantes

La phase de traitement des traces a permis la construction des signes.

Les signes construits dans le synopsis à l'échelle des épisodes proposent une description de l'action qui est indépendante de la description des savoirs en jeu.

¹⁰⁰ Ce choix pourrait être discuté en référence au profil épistémologique que théorise Bachelard (1940) dans *La Philosophie du Non* et qu'il met en pratique sur le concept de masse. Notre « profil épistémologique » de l'énergie doit également jouer un rôle dans notre lecture/écriture des séances observées.

Il s'agit alors de :

- compléter la description obtenue précédemment par une description des jeux de langage qui ont lieu dans la séance ;
- décrire les jeux de langage qui ont lieu entre l'enseignant et les élèves en mobilisant tout le corpus, c'est-à-dire les différents synopsis construits, les entretiens ante et post, l'analyse historique, épistémologique et didactique des savoirs en jeu, l'analyse des documents fournis aux élèves.

Ce travail d'analyse systématique de tous les jeux d'apprentissage conduit à retravailler les synopsis jusqu'à obtenir une forme stable des descripteurs et dans le même temps à intégrer l'ensemble du corpus dans un jeu d'écriture unique. Cette écriture d'un récit à l'échelle des épisodes articule et rend cohérent les différentes données au sein d'un nouveau jeu de langage, celui du chercheur. Ce récit est donc une description de l'action conjointe du point de vue du chercheur, en même tant qu'il en est une explication et une compréhension.

10.4.3 Exemple d'écriture

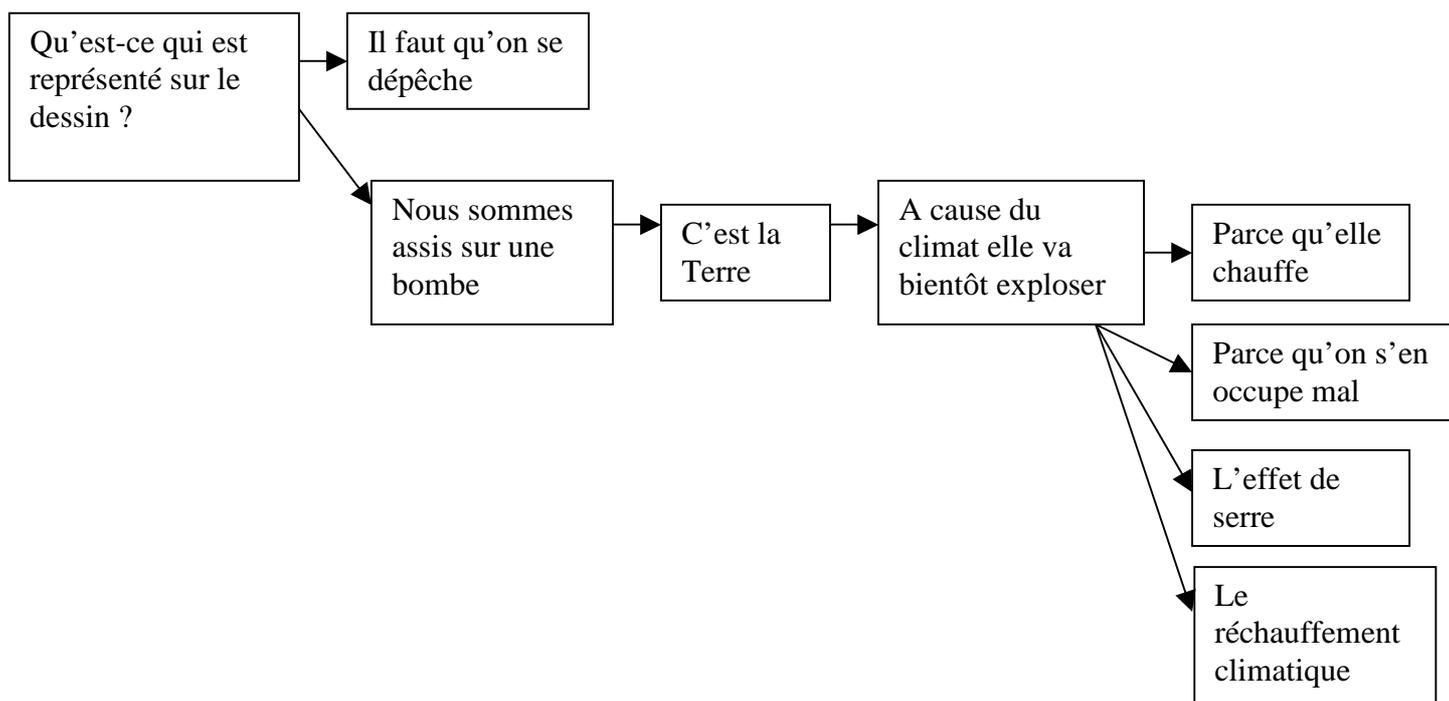
Nous continuons ici sur notre même exemple à montrer comment cette écriture fonctionne. Le lecteur retrouvera cet exemple au chapitre 12, lors de l'analyse de la séance A₂.

Dans le premier jeu, l'enseignant commence la séance en présentant aux élèves un dessin de presse :



La topogénèse est alors du côté des élèves : ils explicitent en effet ce qui représenté sur le dessin. Les formes de communication sont ici interactives, de type I-R-P car l'enseignant essaie de faire expliciter toujours plus les réponses des élèves.

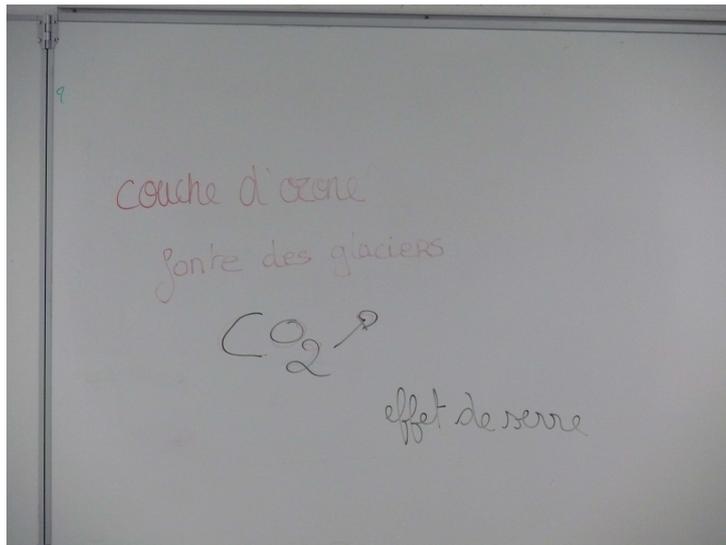
D'un point de vue mésogénétique, nous schématisons ainsi l'enchaînement de la description que font les élèves du dessin:



Deux éléments sont tout d'abord introduits dans le milieu par les élèves, qui correspondent aux deux éléments essentiels de l'image : l'idée de la bombe et l'idée de l'urgence. Toutefois, l'enseignant ne rebondit que sur l'élément « bombe », ce qui conditionne la suite des échanges. La bombe est la Terre, elle va exploser à cause du climat. Deux causes différentes sont alors introduites par les élèves : l'explosion est causée par un réchauffement du climat (« elle chauffe »), l'effet de ce réchauffement est même énoncé (l'effet de serre) ; l'explosion est causée par les hommes (« parce qu'on s'en occupe mal »).

C'est ici une position authoritative qui est construite car l'enseignant arrête le jeu quand un élève prononce l'expression « réchauffement climatique ». C'est donc que l'association entre le dessin et le réchauffement climatique était l'enjeu du jeu. Toutefois, la discussion des êtres humains « essayons d'aller vite », qui représente la dimension politique de la controverse du changement climatique, n'est abordée qu'au tout début du jeu par une élève mais n'est pas retenue par l'enseignant. Par contre une association est déjà faite sur les éléments qui vont par la suite structurer la séance : réchauffement climatique, effet de serre, hausse de la température et responsabilité de l'homme. Ce qui intéressait l'enseignant dans cette image était l'image d'une planète sur le point d'exploser [Ante climat 12], afin de « marquer les esprits » : « oui voilà c'est un moyen d'y aller de manière un peu détournée entre guillemets pourquoi l'histoire d'une bombe qui va exploser ça peut marquer pourquoi on dit ça ».

Le deuxième jeu consiste pour les élèves à associer des mots à « réchauffement climatique » en les écrivant au tableau. La topogénèse est alors du côté des élèves et les formes de communication sont dialogiques et interactives. Certaines interactions ont lieu alors entre élèves et l'enseignant n'intervient que sur des échanges très courts.



Les mots écrits par les élèves sont donc :

- couche d'ozone, qui relève d'un objet « climatique » ;
- fonte des glaciers, qui est liée de l'évolution du climat ;
- augmentation du CO₂ est également liée à l'évolution du climat ;
- effet de serre, qui est un mécanisme de régulation du climat ;

Les mots ne sont ensuite pas discutés mais réinvestis dans le jeu suivant, l'étape d'institutionnalisation où l'enseignant passe à la trace écrite.

La topogénèse est alors du côté de l'enseignant et la phase est non-interactive dans le jeu n°3.

41. E :	(...) donc le but de la séance ça va être <i>de voir quels sont en fait les paramètres qui influent sur ce soit-disant ce qu'on entend</i> changement climatique <i>de quoi ça parle qu'est-ce qui est en jeu et en quoi la science peut apporter des réponses en fait à ces problèmes</i> d'accord donc on va voir ça tout de suite donc vous pouvez prendre une feuille en fait donc ça va être un cours un peu différent on va parler du changement climatique et de ce qui a en jeu quand on parle de changement climatique d'accord donc vous prenez une feuille à part donc on va essayer du coup de parler de ce que vous avez mis comme mots-clés donc couche d'ozone on l'a évoqué fonte des glaciers CO ₂ qui augmente et effet de serre donc on va en reparler au long de ce cours
42. Romain :	c'est de la chimie ?
43. E :	donc <i>c'est un chapitre un peu à part en fait ça vient en fait en aboutissement de toutes les notions d'énergie depuis le début c'est comment un peu on peut voir toutes les notions d'énergie tout ce qu'on a vu par rapport à ce problème de changement climatique en fait donc il va s'intituler donc ce cours <i>changement climatique</i> (4:39)</i>

Plusieurs éléments sont ici significatifs.

Tout d'abord, le changement climatique est qualifié de « ce soi-disant », « ce qu'on entend ». C'est donc le caractère médiatique et controversé du changement climatique qui est ici convoqué dès la présentation de la séance.

L'objet de la séance est « de voir quels sont en fait les paramètres qui influent (...), de quoi ça parle qu'est-ce qui est en jeu » dans le changement climatique. Il y a ici l'idée que la physique va permettre de construire un discours (« dire », « ça parle ») explicatif sur ce changement. L'enseignement de la physique va alors consister à faire émerger ce discours explicatif. De plus, la science est convoquée dans ce discours. Elle est alors externalisée puisqu'elle est un élément du discours : « la science peut apporter des réponses en fait à ces problèmes ». La science est alors vue comme une action sur le monde, puisqu'elle permet une réaction face à des problèmes. Dans le même temps où la science est convoquée comme étant salvatrice, le changement climatique est énoncé, non comme un phénomène, mais comme « des problèmes ». Il y a donc à cet instant un qualificatif de valeur attribué au changement

climatique : ce n'est pas seulement un objet d'étude scientifique, mais aussi un problème à résoudre pour l'homme.

L'enseignant affirme bien le caractère particulier de ce chapitre, qui vient « en aboutissement » de tous les chapitres sur l'énergie. Il signifie ainsi que toutes les séances précédentes conduisent à celle-ci. Il la charge donc de beaucoup de sens.

L'enseignant introduit ici un changement dans le vocable utilisé. On passe de « réchauffement climatique » à « changement climatique ».

10.4.4 La présentation des configurations significatives construites

Nous revenons en cette fin de partie à notre problématique : il s'agit dans un premier temps de décrire le jeu didactique afin de le comparer dans les deux contextes différents que sont l'enseignement de l'énergie et l'enseignement du changement climatique.

Nous distinguons alors deux dimensions pour construire des configurations significatives propices à une comparaison :

- une dimension synchronique qui concerne une description globale de l'action conjointe : il s'agit alors de s'extraire du point de vue des épisodes pour analyser la répartition des différents descripteurs sur l'ensemble de la séance, ainsi que leur évolution. Ce sont les caractéristiques de l'action conjointe.
- une dimension diachronique qui concerne la nature des savoirs enseignés : il s'agit alors à travers le jeu de langage du chercheur d'explorer ce qui dans l'action conjointe a trait à la nature et la fonction des différents types d'énoncés (langage courant ; langage scientifique : énoncés de type grammatical / empirique).

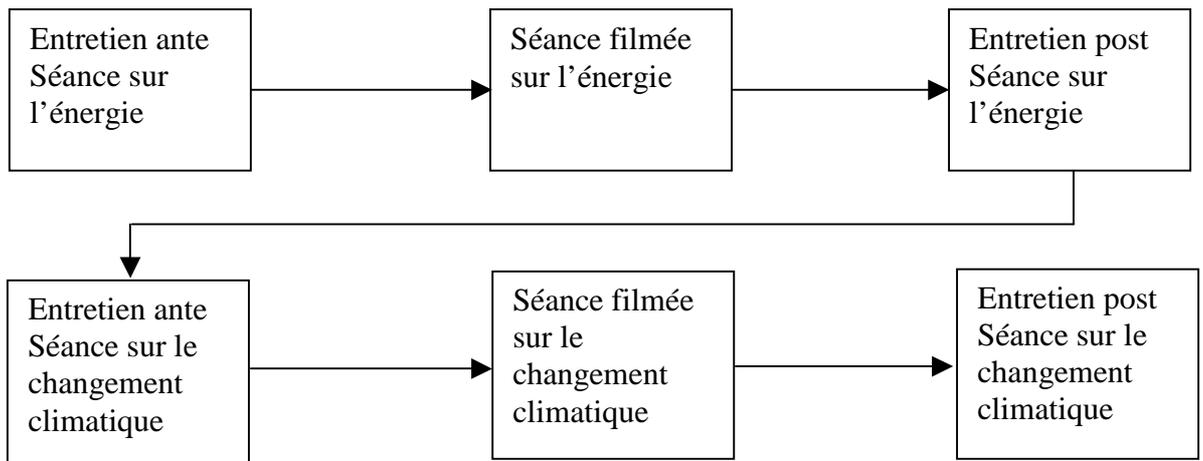
Finalement, un tableau de l'action conjointe rassemble les deux dimensions. C'est ce tableau qui fait alors l'objet d'une comparaison entre les séances et entre les études de cas.

C'est ce tableau qui a également pour ambition de synthétiser les éléments éclairant l'épistémologie pratique des deux enseignants dont nous étudions la pratique.

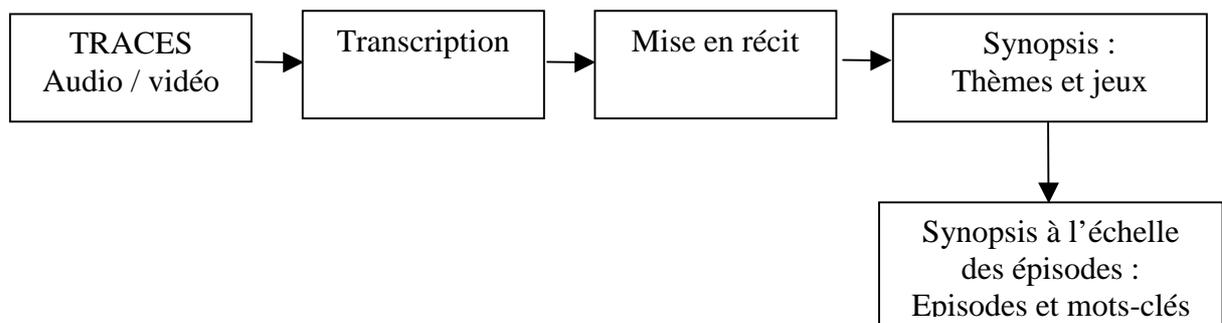
Résumé du chapitre 10

Nous rassemblons dans le schéma suivant l'ensemble de la méthode utilisée :

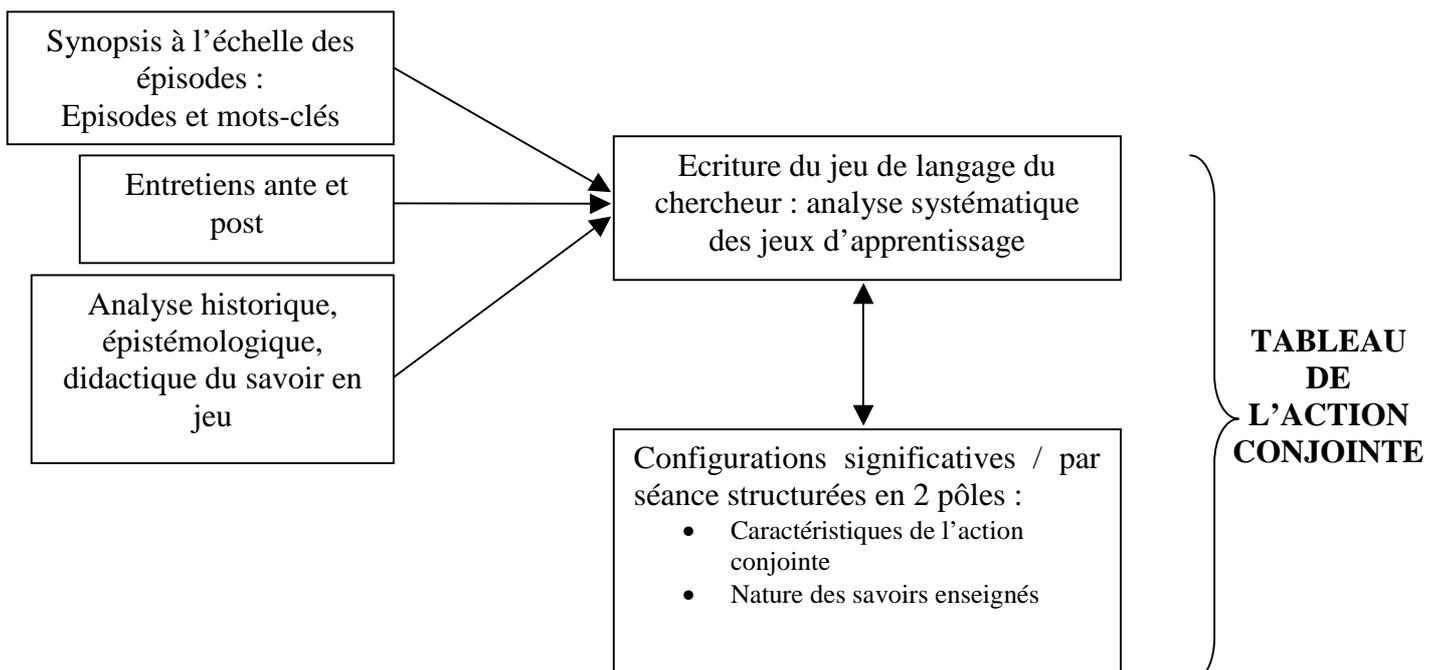
1- Collecte des traces / enseignant



2- Construction des signes du corpus principal / séance



3- Ecriture du jeu de langage du chercheur / séance



Partie 5 : Résultats

« Passer au crible le chaos, pour y trouver une lueur de cohérence »

P. Auster, *Trilogie new-yorkaise*, 1985.

Sommaire de la partie 5

Nous présentons successivement dans cette partie les analyses des quatre séances filmées (chapitres 11 à 14). Nous concluons finalement en reprenant les tableaux de la pratique des deux enseignants dans les deux séances analysées (chapitre 15).

11. ANALYSE DE LA SÉANCE A₁	163
11.1 Construction des signes à partir du corpus principal - Synopsis de la séance	163
11.2 Caractéristiques de l'action conjointe dans la séance A ₁	169
11.3 La nature des savoirs enseignés	187
11.4 Conclusion : un tableau de la pratique de l'enseignant A dans la séance A ₁	206
12. ANALYSE DE LA SÉANCE A₂	209
12.1. Construction des signes à partir du corpus principal - Synopsis de la séance ...	209
12.2. Caractéristiques de la pratique de l'enseignant A dans la séance A ₂	218
12.3 La nature des savoirs enseignés	235
12.4 Conclusion : un tableau de la pratique de l'enseignant A dans la séance A ₂	262
13. ANALYSE DE LA SÉANCE B₁	267
13.1. Construction des signes à partir du corpus principal - Synopsis de la séance ...	267
13.2. Caractéristiques de la pratique de l'enseignant B dans la séance B ₁	272
13.3 La nature des savoirs enseignés	290
13.4. Conclusion : un tableau de la pratique de l'enseignante B dans la séance B ₁	304
14. ANALYSE DE LA SÉANCE B₂	309
14.1. Construction des signes à partir du corpus principal - Synopsis de la séance ...	309
14.2 Caractéristiques de la pratique de l'enseignante B dans la séance B ₂	313
14.3 La nature des savoirs enseignés	330
14.4. Conclusion : un tableau de la pratique de l'enseignante B dans la séance B ₂	347
15. CONCLUSION DES ANALYSES : UNE SYNTHÈSE	351

11. Analyse de la séance A₁

Conformément à la méthodologie que nous avons définie (voir chapitre 10, p. 133), nous présentons la structuration de la séance A₁ en thèmes et jeux d'apprentissage, sous la forme d'une mise en narration, puis d'un synopsis (11.1).

Nous renvoyons ici le lecteur à l'annexe relatif à la séance A₁, pour une consultation de l'analyse systématique de quelques jeux d'apprentissage (annexes, p. 23) et du synopsis à l'échelle des épisodes de la séance A₁ (annexes, p. 11).

Par souci de clarté dans l'exposé, nous présentons nos résultats en dissociant ce qui est intégré dans la pratique : d'un côté les caractéristiques de la pratique de l'enseignant A dans cette séance A₁ (11.2), de l'autre l'analyse structurée des jeux de langage (11.3).

Enfin, nous concluons en dressant un tableau de l'action conjointe de l'enseignant A lors de la séance A₁ (11.4).

11.1 Construction des signes à partir du corpus principal - Synopsis de la séance

Nous réduisons dans cette partie le corpus principal, de façon à construire des signes.

Nous commençons donc par décrire notre corpus principal pour cette séance (11.1.1). Nous faisons ensuite une première structuration de la séance en thèmes et jeux d'apprentissage par une mise en narration (11.1.2). Nous synthétisons alors dans un tableau la structure de la séance : il s'agit du synopsis (11.1.3).

11.1.1 Le corpus principal : la bande-vidéo de la séance

La bande vidéo principale est issue de la caméra qui filme les élèves de face.

La bande vidéo commence au bout de 5 minutes quand les élèves sont installés (ce moment est défini comme temps 0 de l'analyse). Une pause de 5 minutes est effectuée au bout de 56 minutes de bande (la bande vidéo est alors arrêtée jusqu'à la reprise). Le film dure 1h52min.

11.1.2 Mise en narration de la séance : structuration en thèmes et jeux d'apprentissage

Nous présentons ici une première structuration de la séance, que nous avons organisée en thèmes en suivant l'ordre chronologique de leur succession. La manière dont chaque thème est abordé est ensuite décrite et nous détaillons l'ensemble des jeux d'apprentissage qui s'y déroulent.

Les documents distribués par l'enseignant sont disponibles dans les annexes (p.6).

Cette séance a pour objectif global d'introduire l'étude de l'énergie.

- Thème n°1 : Quelques contextes d'usage du mot « énergie »

L'enseignant distribue aux élèves un polycopié constitué de 5 documents¹⁰¹. Les élèves doivent inférer l'objet de la séance à partir de la lecture de ces documents : ils proposent « les énergies ». Les élèves doivent ensuite proposer un titre à chaque document. Une mise en commun a alors lieu pour décider collectivement des titres à donner à chaque document.

L'enseignant propose alors aux élèves volontaires d'aller au tableau pour exprimer ce à quoi ils associent l'énergie (sous forme de dessin ou de mots).

L'enseignant instaure alors la prise de notes : les élèves décident du titre (« les énergies ») et l'enseignant questionne les élèves sur l'actualité liée à l'énergie. Il dicte ensuite ce qui justifie l'étude de l'énergie : le défi énergétique qu'ils auront à relever en tant que citoyens.

Nous avons divisé le thème n°1 en 5 jeux d'apprentissage :

- Deviner l'objet de la séance à partir d'un ensemble de documents ;
- Donner un titre aux documents fournis ;
- Associer des mots ou expressions au mot « énergie » ;
- Donner un titre au chapitre ;
- Problématiser l'énergie.

- Thème n°2 : La définition de l'énergie

L'enseignant demande aux élèves de définir l'énergie. Les élèves proposent des éléments de réponse mais c'est finalement l'enseignant qui la définit comme « une grandeur physique qui caractérise un système et qui varie lorsque ce système est le siège de transformations ».

Le thème n°2 donne lieu à un seul jeu d'apprentissage :

- Définir l'énergie.

- Thème n°3 : Le principe de conservation de l'énergie

L'enseignant fait lire le document n°4 du polycopié portant sur le principe de conservation de l'énergie et demande aux élèves la signification de ce principe. Il le dicte ensuite aux élèves.

L'enseignant propose alors une situation (un homme qui pousse un chariot) où les élèves doivent appliquer le principe pour déterminer les transferts d'énergie.

Le thème n°3 est composé de 2 jeux d'apprentissage :

- Résumer le principe de conservation de l'énergie à partir d'un document distribué ;
- Appliquer le principe de conservation de l'énergie à un exemple simple.

- Thème n°4 : Les unités de l'énergie

L'enseignant questionne les élèves sur l'association grandeur physique / unité et utilise l'exemple des unités courantes de la masse pour introduire quelques unités usuelles de l'énergie. Le joule est défini comme unité de l'énergie dans le système international. La calorie est ensuite définie par l'enseignant puis un travail individuel est initié afin de convertir la calorie en joule grâce au document 2 du polycopié. Le document 3 permet d'introduire le kilowattheure. Enfin, le dernier exemple d'unité pris par l'enseignant est la tonne équivalent pétrole (TEP).

Le thème n°4 est ainsi composé de 6 jeux d'apprentissage :

- Associer une unité à une grandeur physique ;
- Expliciter l'unité SI de l'énergie ;
- Définir la calorie ;
- Convertir la calorie en joule ;
- Définir le kWh ;
- Définir la TEP.

¹⁰¹ Voir les annexes, pp. 6-7.

- Thème n°5 : Les formes d'énergie : la distinction source / forme

L'enseignant questionne les élèves sur les formes d'énergie qu'ils connaissent. Les élèves répondent à l'oral et l'enseignant distingue les sources d'énergie des formes d'énergie. La source d'énergie est définie après que l'enseignant a questionné les élèves, puis la distinction est travaillée sur l'exemple de l'éolienne.

Le thème n°5 est ainsi composé de 3 jeux d'apprentissage :

- Donner des exemples de formes d'énergie ;
- Distinguer sources et formes d'énergie ;
- Distinguer sources et formes d'énergie sur l'exemple de l'éolienne.

- Thème n°6 : Les formes d'énergie : la classification des formes d'énergie

L'énergie cinétique est définie ($\frac{1}{2}mv^2$), les unités sont discutées puis les élèves travaillent individuellement à un exercice sur l'énergie cinétique et la sécurité routière. Un élève va ensuite le corriger au tableau. L'enseignant définit l'énergie potentielle (mgz), la formule est alors explicitée et les unités détaillées. L'enseignant demande ensuite aux élèves les formes d'énergie qu'il reste à préciser. L'enseignant définit alors successivement les énergies thermique, chimique, nucléaire, électrique et rayonnante.

Le thème n°6 est ainsi composé de 11 jeux d'apprentissage :

- Définir l'énergie cinétique ;
- Associer des unités à la formule de l'énergie cinétique ;
- Appliquer la formule de l'énergie cinétique dans le cadre de la sécurité routière ;
- Définir l'énergie potentielle ;
- Associer des unités à la formule de l'énergie potentielle ;
- Citer d'autres formes d'énergie ;
- Définir l'énergie thermique ;
- Définir l'énergie chimique ;
- Définir l'énergie nucléaire ;
- Définir l'énergie électrique ;
- Définir l'énergie rayonnante.

- Thème n°7 : La chaîne énergétique

L'enseignant introduit le modèle de la chaîne énergétique pour « symboliser les transformations de manière schématique ». Il attribue ainsi un symbole à chaque forme d'énergie vue auparavant. L'enseignant définit alors la chaîne énergétique et utilise ce modèle pour décrire le fonctionnement énergétique de l'éolienne. Il généralise alors à n'importe quel convertisseur d'énergie. Il questionne ensuite les élèves sur la définition du rendement d'un convertisseur d'énergie et sur son unité.

Le thème n°7 est ainsi composé de 4 jeux d'apprentissage :

- Symboliser les formes d'énergie ;
- Modéliser les transformations de l'énergie ;
- Définir un rendement ;
- Associer une unité au rendement.

- Thème n°8 : Le stockage de l'énergie

L'enseignant fait lire un texte¹⁰² écrit par Volta décrivant l'invention de la pile. Il questionne ensuite les élèves sur la constitution d'une pile. Une pile de Volta est alors reconstituée avec

¹⁰² Voir les annexes, p. 8.

du jus de citron et deux plaques métalliques. Deux élèves sont chargés d'alimenter un réveil avec cette pile, les autres entourent la table où est disposé le montage. L'enseignant fait alors le lien grâce à un questionnement entre énergie chimique et réactions d'oxydoréduction qui ont fait l'objet du chapitre précédent.

Le thème n°8 est ainsi composé de 4 jeux d'apprentissage :

- Lire un texte de Volta décrivant l'invention de la pile ;
- Décrire la constitution d'une pile ;
- Faire fonctionner un réveil avec un citron ;
- Modéliser le fonctionnement d'une pile.

L'enseignant donne alors en fin de séance les consignes de travail à la maison pour la séance suivante : trouver le mot mystère qui fera l'objet de la prochaine séance (le *travail*) en résolvant un jeu de mots-fléchés¹⁰³ qui reprend des notions vues.

11.1.3 Synopsis à l'échelle macroscopique de la séance

Nous avons structuré la séance suivant le thème abordé, les jeux d'apprentissage qui s'y déroulent, l'organisation de la classe, le temps passé à chaque jeu et les numéros de tour de parole tels qu'ils se trouvent sur la transcription, afin d'en faciliter la lecture (voir les annexes, p. 39). Le tableau n°1-A₁ ci-dessous constitue ainsi la synopsis de la séance sur l'énergie de l'enseignant A.

¹⁰³ Voir les annexes, pp. 9-10.

Tableau n°1-A₁ : Synopsis de la séance A₁

Thème	Temps	Tour de paroles	Jeux d'apprentissage	Organisation de la classe
Thème n°1 Quelques contextes d'usage du mot « énergie »	(0:00)→ (2:25)	1→23	Deviner l'objet de la séance à partir d'un ensemble de documents	Individuel / classe entière
	(2:25)→ (10:29)	24→145	Donner un titre aux documents fournis	Individuel / classe entière
	(10:29)→ (14:47)	145→245	Associer des mots ou expressions au mot « énergie »	Élève au tableau / classe entière
	(14:47)→ (16:13)	245→251	Donner un titre au chapitre	Classe entière
	(16:13)→ (21:16)	251→281	Problématiser l'énergie	Classe entière
Thème n°2 Définition de l'énergie	(21:16)→ (24:40)	281→299	Définir l'énergie	Classe entière
Thème n°3 Le principe de conservation de l'énergie	(24:40)→ (29:28)	299→314	Résumer le principe de conservation de l'énergie à partir d'un document distribué	Classe entière
	(29:28)→ (34:11)	314→333	Appliquer le principe de conservation de l'énergie à un exemple simple	Classe entière
Thème n°4 Les unités de l'énergie	(34:11)→ (35:33)	333→359	Associer une unité à une grandeur physique	Classe entière
	(35:33)→ (37:39)	359→382	Expliciter l'unité SI de l'énergie	Classe entière
	(37:39)→ (39:41)	382→391	Définir la calorie	Classe entière
	(39:41)→ (42:15)	391→413	Convertir la calorie en joule	Individuel / classe entière
	(42:15)→ (44:22)	413→440	Définir le kWh	Classe entière
	(44:22)→ (47:29)	440→462	Définir la TEP	Classe entière
Thème n°5 Les formes d'énergie : la différence source / formes	(47:29)→ (48:37)	462→493	Donner des exemples de formes d'énergie	Classe entière
	(48:37)→ (51:56)	493→509	Distinguer sources et formes d'énergie	Classe entière
	(51:56)→ (56:06)	509→586	Distinguer sources et formes d'énergie sur l'exemple de l'éolienne	Classe entière
PAUSE				

Thème	Temps	Tour de paroles	Jeux d'apprentissage	Organisation de la classe
Thème n°6 Les formes d'énergie : la classification des formes d'énergie	(56:06)→ (58:20)	587→603	Définir l'énergie cinétique	Classe entière
	(58:20)→ (59:05)	603→615	Associer des unités à la formule de l'énergie cinétique	Classe entière
	(59:05)→ (1:10:19)	615→767	Appliquer la formule de l'énergie cinétique dans le cadre de la sécurité routière	Individuel / classe entière
	(1:10:19)→ (1:12:55)	767→781	Définir l'énergie potentielle	Classe entière
	(1:12:55)→ (1:13:57)	781→796	Associer des unités à la formule de l'énergie potentielle	Classe entière
	(1:13:57)→ (1:14:39)	796→817	Citer d'autres formes d'énergie	Classe entière
	(1:14:39)→ (1:17:20)	817→851	Définir l'énergie thermique	Classe entière
	(1:17:20)→ (1:19:25)	851→868	Définir l'énergie chimique	Classe entière
	(1:19:25)→ (1:20:56)	868→890	Définir l'énergie nucléaire	Classe entière
	(1:20:56)→ (1:22:41)	890→916	Définir l'énergie électrique	Classe entière
Thème n°7 La chaîne énergétique	(1:22:41)→ (1:25:53)	916→955	Définir l'énergie rayonnante	Classe entière
	(1:25:53)→ (1:32:40)	955→1018	Symboliser les formes d'énergie	Classe entière
	(1:32:40)→ (1:39:01)	1019→1095	Modéliser les transformations de l'énergie	Classe entière
	(1:39:01)→ (1:41:02)	1095→1127	Définir un rendement	Classe entière
Thème n°8 Le stockage de l'énergie	(1:41:02)→ (1:42:03)	1127→1155	Associer une unité au rendement	Classe entière
	(1:42:03)→ (1:45:24)	1155→1160	Lire un texte de Volta décrivant l'invention de la pile	Classe entière
	(1:45:24)→ (1:46:22)	1161→1181	Décrire la constitution d'une pile	Classe entière
	(1:46:22)→ (1:49:51)	1181→1238	Faire fonctionner un réveil avec un citron	Expérience
Fin de séance	(1:49:51)→ (1:50:55)	1238→1257	Modéliser le fonctionnement d'une pile	Expérience
	(1:50:55)→ (1:51:39)	1257	Trouver le mot mystère du jeu de mots fléchés	Classe entière

11.2 Caractéristiques de l'action conjointe dans la séance A₁

Nous présentons ici les résultats du traitement de Transana sur les descripteurs. Nous proposons une description globale de la pratique de l'enseignant A dans la séance A₁, en nous appuyant sur la répartition et l'évolution des mots-clés qui ont été codés. Nous illustrons alors ces descriptions à l'aide de quelques extraits issus de la transcription. Nous renvoyons le lecteur aux annexes pour une explicitation du codage effectué (annexes, p. 11).

Nous organisons alors le compte-rendu des descripteurs suivant qu'ils décrivent des caractéristiques de :

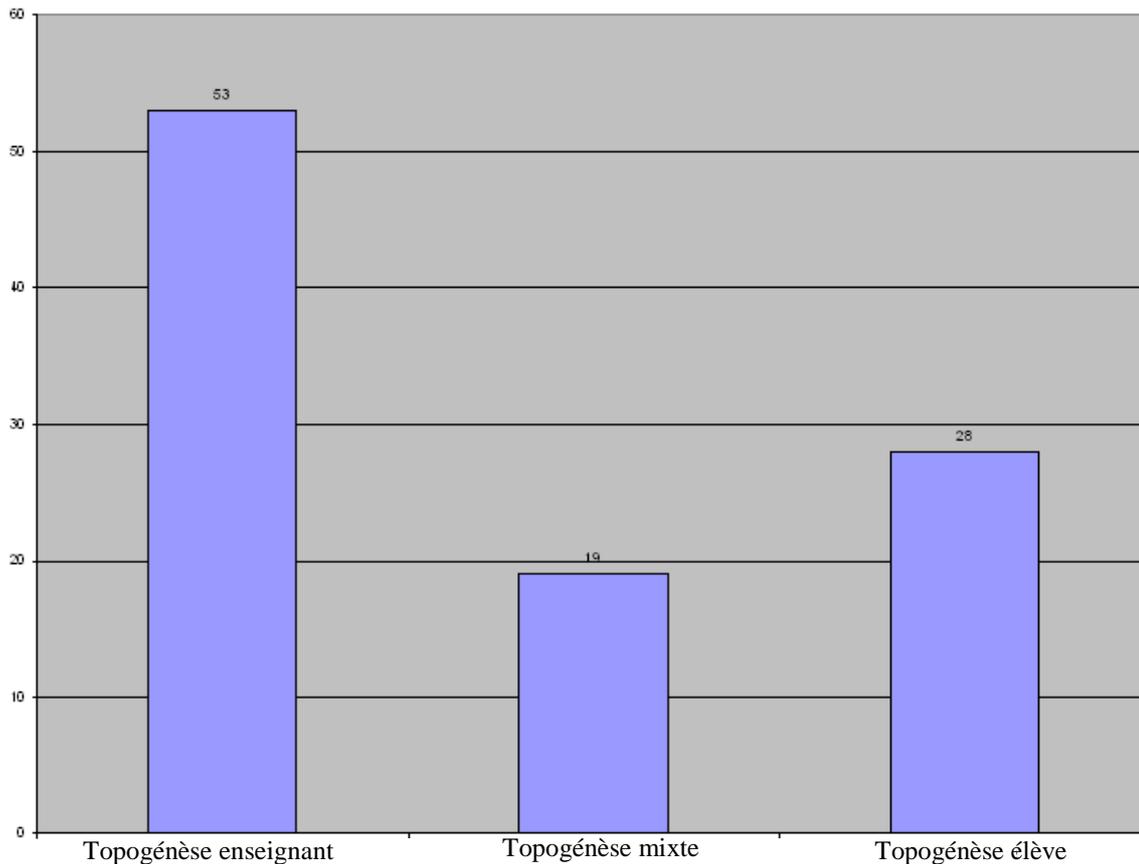
- la topogénèse (11.2.1) ;
- la mésogénèse (11.2.2) ;
- la chronogénèse (11.2.3) ;

11.2.1 Une topogénèse majoritairement sous la responsabilité de l'enseignant

Nous commençons notre analyse en décrivant la répartition en % de la topogénèse lors de la séance A₁ : la topogénèse est majoritairement sous la responsabilité de l'enseignant (11.2.1.1). Nous décrivons alors l'évolution de cette topogénèse en la complétant avec les descripteurs « formes de communication » et « formes d'organisation sociale du travail en classe » (11.2.1.2). Nous spécifions ensuite davantage la topogénèse en analysant quelques extraits où la topogénèse est sous la responsabilité des élèves (11.2.1.3) ou bien mixte (11.2.1.4). Nous caractérisons également les épisodes où c'est l'enseignant qui est responsable de la topogénèse (11.2.1.5). Nous concluons finalement en résumant les principales caractéristiques de la topogénèse dans la séance A₁ (11.2.1.6).

11.2.1.1 La place importante de l'enseignant dans l'avancée des savoirs

Nous représentons dans le graphique n°1-A₁ la répartition en % du temps de la séance de la topogénèse lors de la séance A₁ :



Graphique n°1-A₁ : Répartition (en % du temps de la séance) de la topogénèse lors de la séance A₁

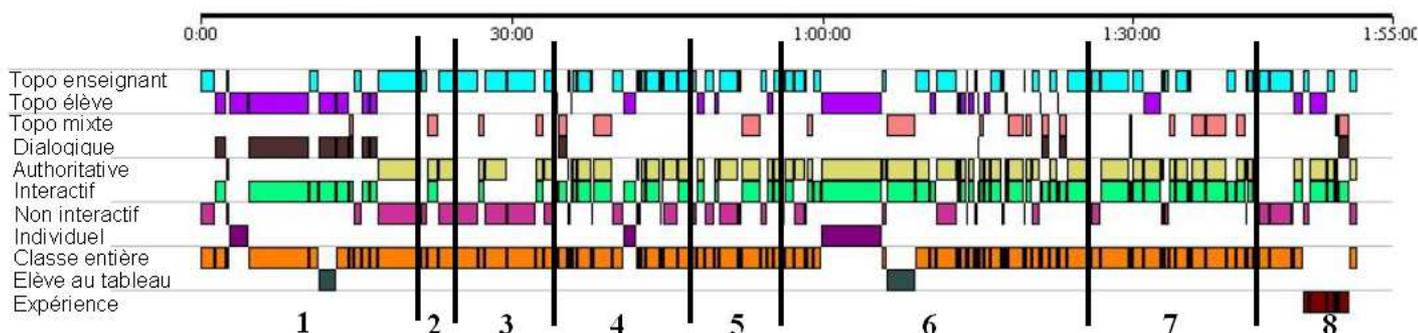
On remarque sur le graphique n°1-A₁ que la topogénèse est majoritairement du côté de l'enseignant (53% du temps de la séance) contre 28% pour les élèves. On observe qu'une topogénèse mixte occupe 19% du temps de la séance. On peut donc en déduire que c'est l'enseignant qui de façon majoritaire a le contrôle de l'évolution du milieu.

Nous caractérisons davantage la topogénèse dans les parties suivantes, en étudiant l'évolution de la topogénèse dans la séance et en croisant l'analyse avec d'autres descripteurs.

11.2.1.2 Evolution des descripteurs permettant de caractériser la topogénèse de la séance A₁

Nous présentons dans le graphique n°2-A₁¹⁰⁴ l'évolution des descripteurs qui nous permettent de caractériser plus précisément la topogénèse. Nous confrontons ainsi la topogénèse et les formes de communication utilisées, ainsi que l'organisation sociale de la classe.

¹⁰⁴ Nous mettons en évidence sur le graphique n°2-A₁ le découpage en thèmes par des traits verticaux et des numéros (permettant l'identification des thèmes). Nous adopterons cette forme de présentation pour les autres graphiques de ce type dans la suite de notre présentation.



Graphique n°2-A₁ : Evolution de la topogénèse, associée à l'évolution d'autres descripteurs complétant l'interprétation topogénétique de la séance A₁

On remarque sur le graphique n°2-A₁ que :

- la séance commence par un thème (n°1 : quelques contextes d'usage du mot « énergie »), dont la topogénèse est majoritairement du côté des élèves et dont la forme de communication est majoritairement dialogique et interactive ;
- une organisation sociale de la classe différente que celle « en classe entière » est souvent associée à la topogénèse du côté des élèves : travail individuel et au tableau dans le thème n°1, travail individuel dans les thèmes n°4 (les unités de l'énergie : jeu n°4, convertir la calorie en joule) et n°6 (les formes d'énergie : jeu n°3, appliquer la formule de l'énergie cinétique dans le cadre de la sécurité routière), travail autour d'une expérience dans le thème n°8 (le stockage de l'énergie : jeux 3 et 4) ;
- la topogénèse mixte est le plus souvent associée à une forme de communication autoritative / interactif ;
- la topogénèse est majoritairement du côté de l'enseignant (53%), la forme de communication privilégiée est de type autoritative / interactif (61% du temps de la séance) et l'organisation sociale de la classe est essentiellement en classe entière (83.5% du temps de la séance).

Nous développons davantage ces quelques éléments en spécifiant maintenant les différentes modalités de la prise en charge du milieu par les acteurs (11.2.1.3 ; 11.2.1.4 et 11.2.1.5).

11.2.1.3 Une topogénèse du côté des élèves dans les épisodes où les nouveaux savoirs de physique ne sont pas mis en jeu

Nous avons remarqué sur le graphique n°2-A₁ que le début de la séance (jusqu'à la minute 15 – thème 1) a majoritairement une topogénèse sous la responsabilité des élèves, avec une forme de communication majoritairement dialogique et interactive. Nous analysons ici quelques extraits des jeux d'apprentissage du thème 1, afin d'en préciser la topogénèse.

Lors des 2 premiers jeux de la séance, l'enseignant fait travailler les élèves sur une série de documents et ces jeux d'apprentissage ont pour objectifs de trouver l'objet de la séance et de donner un titre aux différents documents. Ce sont donc des jeux dans lesquels les savoirs scientifiques n'interviennent pas.

Nous illustrons ici cette forme de topogénèse du côté des élèves (extrait issu du jeu n°2 du thème 1) [T 55-79] :

55. E :	(...) (6 :03) donc le deuxième document là on passe au deuxième document qu'est-ce que vous en pensez ça parle de quoi ?
56. Lorraine :	énergie nutritionnelle
57. E :	oui euh vas-y
58. Lorraine :	de l'énergie nutritionnelle
59. E :	alors énergie nutritionnelle, pourquoi pas oui
60. Camille :	alimentaire
61. Mathilde :	alimentaire
62. Lorraine :	dans l'aliment
63. E :	dans un aliment qui est oui Adrien
64. Lorraine :	le lait
65. Adrien :	c'est un besoin énergétique journalier
66. Lorraine :	énergie nutritionnelle du lait
67. E :	alors est-ce que ça parle que des besoins énergétiques journaliers dans le lait
68. Coentin :	non
69. E :	alors ça parle qu'est-ce qu'on a comme différence d'informations donc on a l'énergie oui et on a quoi comme autres informations
70. Coentin :	bah tout ce qui est protéines
71. Romain :	protéines, glucides, lipides
72. E :	c'est-à-dire ouais
73. Maxime :	l'apport
74. Coentin :	la valeur
75. E :	l'apport en énergie mais même donc c'est des informations
76. Coentin :	valeur nutritionnelle
77. E :	oui nutritionnelle oui tout simplement c'est bon pour tout le monde
78. Coentin :	ce sont les valeurs nutritionnelles
79. E :	document 2 donc énergie nutritionnelle ouais c'était une bonne idée aussi

L'objectif du jeu n°2 du thème 1 est de donner un titre aux documents fournis par l'enseignant : celui-ci leur laisse la responsabilité du milieu et institutionnalise finalement le titre qui fait consensus pour les élèves [T 77-79]. La forme de communication est interactive et dialogique, car des éléments différents sont introduits et pris en compte dans le milieu. Aucun savoir scientifique n'intervient.

De même, le 3^{ème} jeu du thème 1 consiste à associer au tableau des mots, des expressions ou des dessins à l'énergie. Des élèves volontaires vont alors au tableau : un soleil est dessiné, les mots « éolienne », « charbon », « énergie hydraulique », « panneaux solaires », « biocarburants » et « calorie » sont écrits au tableau. Une discussion suit alors pour commenter ce qui est marqué au tableau. L'enseignant laisse ainsi des propositions différentes s'exprimer publiquement.

L'enseignant justifie dans l'entretien ante cette manière de faire [Ante 84-85 et 99] :

84. NH :	et ça te semble important ça de faire participer l'élève en fait un peu
85. E :	oui bah oui <i>très important</i>
86. NH :	et alors pourquoi ça te semble important de faire ça là sur l'énergie
87. E :	bah parce que c'est une notion qui dont ils entendent parler tous les jours et <i>on l'emploie quotidiennement</i> mais sans savoir ce que c'est etc. donc là voir différents documents et <i>commencer à voir émerger ça cette pluralité de la notion</i>
(...)	
99. E :	de voir émerger <i>tout ce qu'ils ont déjà à l'esprit</i> pour voir sur cette notion là tout ce que ben tous les a priori les expressions

Autrement dit, on peut justifier la forme dialogique que prend ces jeux par l'intérêt qu'éprouve l'enseignant de faire émerger les « représentations » des élèves (« tout ce qu'ils ont déjà à l'esprit ») [Ante 99].

Cet aspect dialogique est également présent dans le choix du titre à donner au chapitre. C'est l'objet du quatrième jeu du thème 1 [T 249-250] :

246. E :	alors chapitre 5 du coup c'est vous qui allez me donner le titre on va parler de (15 :29)
247. Collectif :	l'énergie
248. E :	alors c'est vous qui allez me dire est-ce qu'on va mettre un S ou pas ?
249. Collectif :	oui
250. E :	donc on va mettre un S et on précisera par la suite si on peut l'enlever si on peut voilà dire l'énergie c'est qu'une seule chose ou pas, d'accord ?

L'enseignant admet dans l'entretien post que les deux titres « énergie » ou « énergies » se justifient, « ça dépend du regard qu'on a dessus » [Post 42] :

39. NH :	ouais qu'est-ce que tu t'es dit parce que ton chapitre ça devait être énergie au singulier comment t'as
40. E :	<i>bah le fait qu'ils aient parlé des énergies et puis après je voulais y revenir plus tard pour dire qu'on a vu qu'il y avait différentes formes mais que c'était aussi une même forme parce que ça pouvait se transformer en eux-mêmes et y revenir après</i>
41. NH :	et ça te semble important ça justement de d'avoir gardé ce mot énergie au pluriel
42. E :	bah un peu parce que si après on parle que de l'énergie bah pour eux qu'on sait plus enfin ça voudrait dire qu'il existe qu'une énergie aussi <i>enfin je sais pas c'était entre les 2 les 2 peuvent se justifier ça dépend du regard qu'on a dessus quoi</i>

Autrement dit, la forme dialogique se justifie ici car les deux possibilités ont été publiquement affichées et ce sont les élèves qui ont tranché.

Ce que nous montre ces deux extraits, c'est que la forme dialogique est utilisée par l'enseignant pour faire émerger des usages du mot énergie plutôt que pour confronter des raisonnements alternatifs d'élèves.

On peut par conséquent interpréter ce croisement entre une topogénèse du côté des élèves et une forme de communication dialogique par le fait que l'enseignant part de l'usage courant que font les élèves du mot « énergie » pour ensuite construire l'usage scientifique du concept, qui se fait alors sur un mode plutôt autoritative avec une topogénèse de son côté.

Les jeux d'apprentissage n°1 du thème 5 (donner des exemples de formes d'énergie) et n°6 du thème 6 (citer d'autres formes d'énergie) mettent également en jeu des épisodes à topogénèse du côté des élèves : l'enjeu est alors pour les élèves de donner des noms de formes d'énergie, avant de les étudier systématiquement (voir annexes, [T 462-493], pp. 56-57 ; [T 797-816], p. 67). Ici aussi, l'enjeu des jeux ne porte pas sur les nouveaux savoirs, mais vise l'émergence de ce que les élèves « ont à l'esprit ».

11.2.1.4 Une topogénèse mixte quand les savoirs ou leurs applications font l'objet d'une construction conjointe, majoritairement dans une forme de communication interactive et autoritative

Une topogénèse mixte est mise en œuvre quand l'enseignant cherche à ce que les élèves participent à la construction du savoir à institutionnaliser.

Nous illustrons cette manière de faire par une analyse du jeu n°1 du thème 4 (les unités de l'énergie). Dans ce jeu, l'enseignant introduit l'exemple de la masse et conduit les élèves à exprimer différentes unités de masse qu'ils connaissent [T 337-357]. Ce détour par la masse peut être interprété comme une stratégie initiée par l'enseignant pour éviter d'afficher directement son intention d'enseignement : l'énergie se mesure en différentes unités.

On peut interpréter ce jeu en identifiant la logique des jeux de langage qui le structurent. En effet, ce jeu d'apprentissage s'appuie sur deux jeux de langage dont l'un (B) est imbriqué dans l'autre (A).

Le jeu de langage A est joué par l'enseignant. Sa structure a la forme suivante :

(1) l'énergie est une grandeur [T 333]

333. E : (...) donc on a dit que l'énergie c'était une grandeur physique

or

(2) on associe à toute grandeur une unité [T 337]

337. E : on leur associe exactement une unité

et

(3) les unités dépendent de l'usage [T 357]

357. E : (...) donc c'est que des unités sont plus ou moins adaptées à la situation physique c'est bon ça pour tout le monde

donc

(4) on associe à l'énergie des unités qui dépendent de l'usage [T 359]

359. E : ben pour l'énergie ça va être la même chose

Le jeu de langage B, auquel jouent les élèves, consiste à passer de (2) à (3) à l'aide de l'exemple de la masse : les élèves doivent tout d'abord citer l'unité de la masse dans le système international (le kilogramme) puis d'autres unités courantes (la livre et la tonne sont citées par les élèves). L'enseignant peut alors conclure (4) et passer aux différentes unités usuelles de l'énergie.

La topogénèse est ici mixte car c'est l'enseignant qui a la responsabilité de la structure logique du jeu (identifiée par les points (1), (2), (3) et (4)), mais ce sont les élèves qui ont la responsabilité de faire avancer le jeu en passant d'une étape à une autre. La source de l'autorativité est ici la structure logique construite par l'enseignant.

Nous développons dans l'extrait suivant la manière dont les savoirs sont construits de manière autoritative, avec une topogénèse mixte.

Il s'agit du seul jeu du thème 2 qui a trait à la définition de l'énergie [T 281-294] :

281. E :	(...) okay donc nous allons maintenant comme je vous l'ai dit nous focaliser <i>sur le sens physique du mot énergie</i> donc c'est la première partie donc on va définir on va essayer de définir ce qu'est l'énergie donc définition de l'énergie alors est-ce que quelqu'un pourrait essayer de donner une définition qu'est-ce que l'énergie alors est-ce que quelqu'un a une idée qu'est-ce que l'énergie (21 :49)
----------	--

Le passage qui suit illustre la manière dont l'enseignant et les élèves jouent ce jeu d'apprentissage :

284. Camille :	c'est des réactions chimiques
285. E :	alors ben là tu as donné un exemple par exemple on peut trouver de l'énergie dans des réactions chimiques alors il nous faut trouver une définition plus large parce qu'il n'y a pas que des réactions chimiques alors comment on peut définir c'est quoi l'énergie est-ce que vous avez une idée ou pas
286. Maxime :	c'est une force
287. E :	alors c'est une force c'est intéressant on a vu la notion de force on verra que c'est pas tout à fait une force
288. Corentin :	c'est une puissance
289. E :	il y a l'idée de force mais il y a aussi l'idée de déplacement donc c'est pas exactement une force
290. Corentin :	c'est une entité
291. E :	donc c'est une entité c'est pas une entité pas exactement est-ce que vous avez une idée non
292. Camille :	c'est un déplacement de particules non

293. E :	alors ça peut être le déplacement de particules dans le cadre de quel type d'énergie oui l'énergie Corentin
294. Corentin :	électrique
295. E :	électrique exactement c'est le déplacement d'électrons non donc est-ce que vous voyez une définition plus large que ça qui englobe tout ça en fait non bah c'est un peu normal parce que c'est quelque chose qui est très difficile à définir bah non mais c'est vrai donc <i>c'est très difficile à définir pourquoi parce que l'énergie c'est un peu tout ça</i>

La forme de communication est ici authoritative, car l'enseignant, plutôt que d'explorer les points de vue suggérés par les élèves, les compare à une norme : ce qu'est l'énergie du point de vue des physiciens.

La forme authoritative de communication prépare donc l'institutionnalisation du savoir : l'enseignant rejette de manière authoritative les propositions des élèves [T 287-289-291], mais se sert des différents rejets pour montrer que l'énergie est complexe à définir : « c'est très difficile à définir pourquoi parce que l'énergie c'est un peu tout ça » [T 295]. La mixité de la topogénèse a donc pour fonction ici de préparer l'énonciation de la complexité qu'il y a à définir l'énergie.

Nous renvoyons le lecteur à l'analyse systématique des jeux suivants décrits en annexe qui donnent lieu à une forme authoritative de construction des savoirs (par exemple le jeu n°2 du thème 3, annexes, pp. 25-26 ; le jeu n°2 du thème 7, annexes, pp. 36-37).

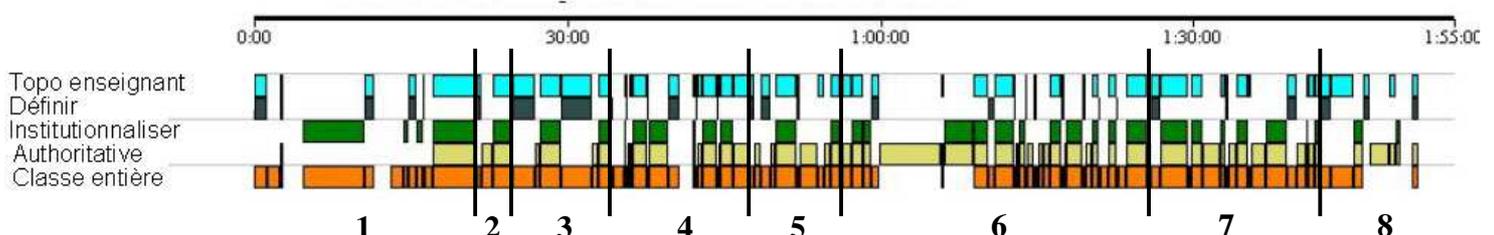
Nous renvoyons le lecteur aux annexes pour davantage d'exemples (jeux n°1 du thème 3 [T 303-311, p. 49], n°3 du thème 4 [T 383-390, p. 53], n°2 du thème 7 [T 1020-1032], p. 75).

La topogénèse mixte a alors comme propriété la participation des élèves au milieu, et la prise en charge par l'enseignant de la logique du raisonnement, en fonction de ce qu'il veut institutionnaliser.

11.2.1.5 Une topogénèse du côté de l'enseignant dans les épisodes de définition des jeux et d'institutionnalisation des savoirs

Nous avons remarqué sur le graphique n°1-A₁ que la topogénèse est majoritairement du côté de l'enseignant, et sur le graphique n°2-A₁ que la forme de communication privilégiée est de type authoritative / interactif et l'organisation sociale de la classe est essentiellement en classe entière. Les épisodes où la topogénèse est sous la responsabilité de l'enseignant concernent principalement des épisodes de définition et d'institutionnalisation.

C'est ce que montre l'évolution des descripteurs du graphique n°3-A₁ :



Graphique n°3-A₁ : Evolution des descripteurs « définir », « institutionnaliser », « authoritative » et « classe entière » associés à la topogénèse sous la responsabilité de l'enseignant

Nous observons en effet sur le graphique n°3-A₁ que les épisodes où la topogénèse est du côté de l'enseignant sont toujours des épisodes soit de définition, soit d'institutionnalisation. Nous

observons également que ces épisodes sont le plus souvent associés à une forme autoritative de communication et joués en classe entière.

11.2.1.6 Caractéristiques de la topogénèse de la séance

A₁ : conclusion

Les principales caractéristiques de la topogénèse pour la séance A₁ sont :

- la topogénèse est du côté des élèves principalement en début de séance : on peut relier cette forme de topogénèse à une dévolution de la suite de la séance (voir 11.2.2.5, p. 181) ;
- la topogénèse est du côté des élèves principalement quand les nouveaux savoirs ne sont pas des enjeux des jeux d'apprentissage. La forme de communication dialogique et l'organisation sociale de la classe autre qu'« en classe entière » sont associées à la topogénèse « élève » ;
- quand la topogénèse est mixte, la forme de communication est le plus souvent autoritative : la référence est alors celle des savoirs scientifiques à institutionnaliser ;
- la topogénèse est majoritairement sous la responsabilité de l'enseignant dans cette séance : la forme de communication est également le plus souvent autoritative et la forme d'organisation sociale de la classe est en classe entière. Ce sont principalement les épisodes de définition des jeux et d'institutionnalisation des savoirs qui sont sous la responsabilité de l'enseignant.

11.2.2 Une mésogénèse interactive, entre l'enseignant et les élèves, dans laquelle de nombreux savoirs sont institutionnalisés par l'enseignant à partir des propositions des élèves

Nous abordons dans notre travail la mésogénèse sous une double dimension :

- du point de vue des savoirs : nous nous intéressons à la nature des savoirs qui constitue le milieu didactique. Nous développerons cette dimension de la mésogénèse en analysant les jeux de langage de la séance A₁ (partie 11.3, p. 187) ;
- du point de vue de la manière dont l'enseignant s'y prend pour faire évoluer le milieu : il s'agit dans ce cas de s'intéresser aux différentes techniques qu'utilise l'enseignant dans sa gestion du milieu. C'est cette dimension de la mésogénèse qui nous intéresse dans cette partie.

Nous caractérisons donc dans la suite la mésogénèse du point de vue des formes que prend l'évolution du milieu, à travers les gestes mésogénétiques de l'enseignant :

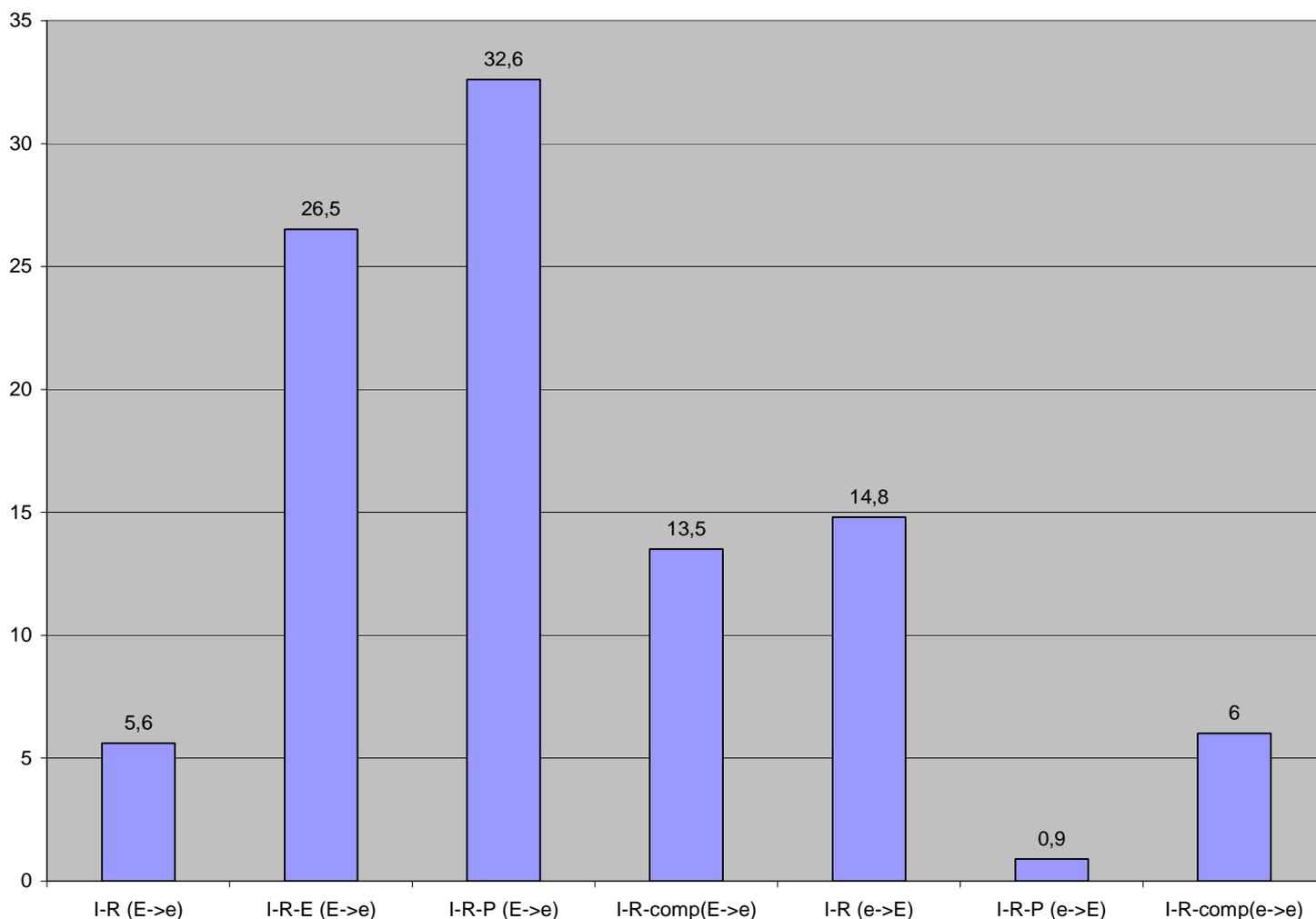
- comment l'enseignant gère-t-il les interactions avec les élèves ? (11.2.2.1) ;
- quelles techniques didactiques utilisent-ils préférentiellement ? (11.2.2.2) ;
- comment régule-t-il le milieu ? (11.2.2.3) ;
- comment stabilise-t-il le milieu ? (11.2.2.4) ;
- comment dévolue-t-il les jeux d'apprentissage à travers la mésogénèse ? (11.2.2.5) ;

Nous concluons finalement sur les caractéristiques de la mésogénèse de la séance A₁, du point de vue de sa gestion par l'enseignant (11.2.2.6).

11.2.2.1 Les types d'interaction majoritairement entre l'enseignant et les élèves, le plus souvent à l'initiative de l'enseignant

On analyse la mésogénèse ici en décrivant les types d'interaction qui ont lieu lors de la séance. Nous avons déjà relevé que les formes de communication sont principalement interactives (78% du temps de la séance).

Les types que prennent les interactions sont de plus multiples¹⁰⁵ (graphique n°4-A₁) :



Graphique n°4-A₁ : Répartition (en % du temps d'interaction) des types d'interaction lors de la séance A₁

Les formes privilégiées par l'enseignant A sont majoritairement de type :

- I-R-P (E→e) : 32.6.3% : l'enseignant essaie d'approfondir les réponses des élèves ;
- I-R-E (E→e) : 26.5% : l'enseignant évalue directement les réponses proposées par les élèves ;

Les réponses des élèves, souvent courtes, peuvent satisfaire l'enseignant et dans ce cas une interaction de type I-R-E suffit à faire avancer le milieu. Toutefois, quand la question de

¹⁰⁵ Nous renvoyons le lecteur au chapitre 10 pour consulter le sens des abréviations utilisées (voir 10.3.4.2.5, p. 148)

l'enseignant porte sur une explication à donner, les réponses courtes des élèves justifient une régulation de l'enseignant pour faire développer et préciser les réponses. Dans ce cas, c'est une interaction de type I-R-P qui se met en place.

Nous remarquons de plus sur ce graphique que les interactions sont très majoritairement initiées par l'enseignant : c'est donc lui qui contrôle précisément l'évolution du milieu.

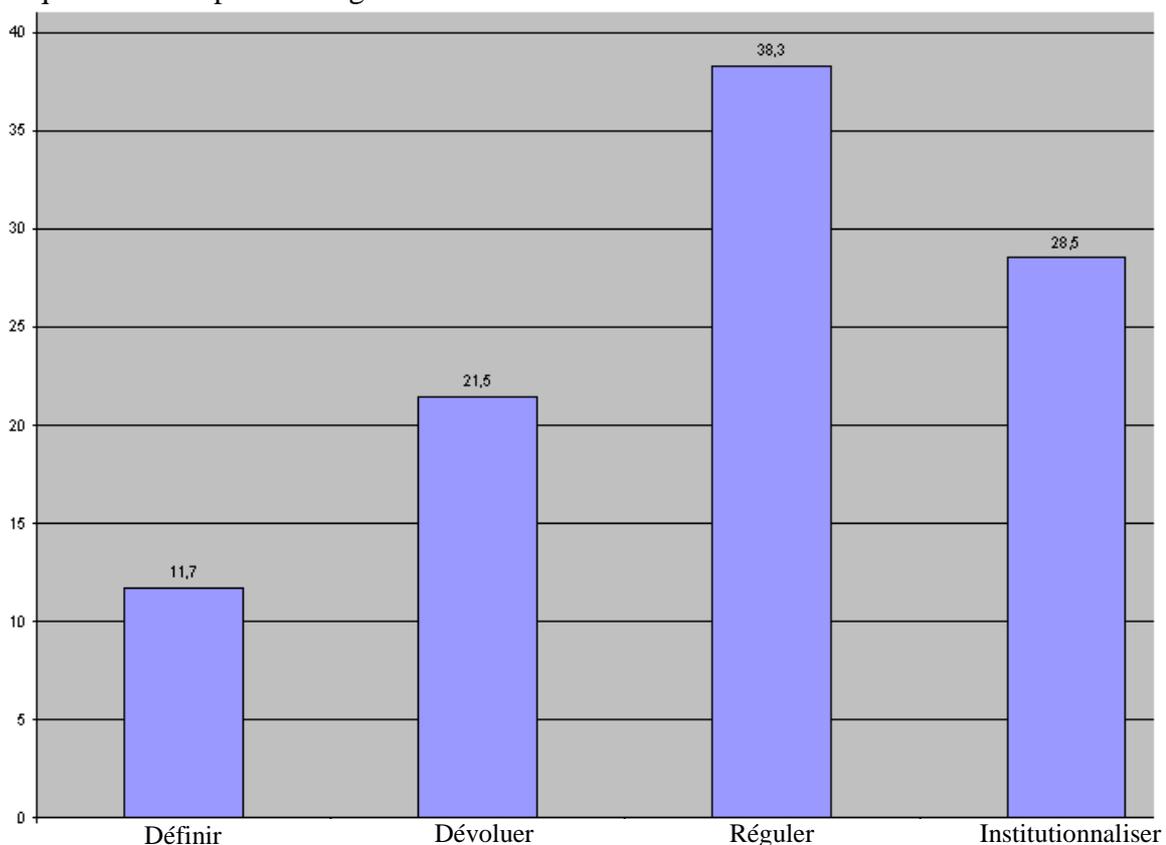
On note de plus que certaines interactions sont initiées par les élèves :

- I-R (e→E) : 14.8% : ce sont les élèves qui posent des questions à l'enseignant. Ce type d'interaction est concentré dans les phases où un travail individuel est demandé aux élèves et lors du thème n°7, quand l'enseignant introduit le symbolisme lié aux formes d'énergie.

En outre, on remarque que l'enseignant intervient dans la majorité des interactions puisque seules 6% des interactions se font entre élèves. On peut mettre en relation la place prédominante de l'enseignant dans les interactions avec la prépondérance de sa responsabilité dans la topogénèse (voir 11.2.1.4, p. 173).

11.2.2.2 Les techniques didactiques « réguler » et « institutionnaliser » prédominent dans la gestion de la mésogénèse par l'enseignant

Le graphique n°5-A₁ montre la répartition dans le temps des différentes techniques didactiques utilisées par l'enseignant :



Graphique n°5-A₁ : Répartition (en % du temps de la séance) des techniques didactiques lors de la séance A₁

Deux éléments nous semblent importants dans le graphique n°5-A₁ :

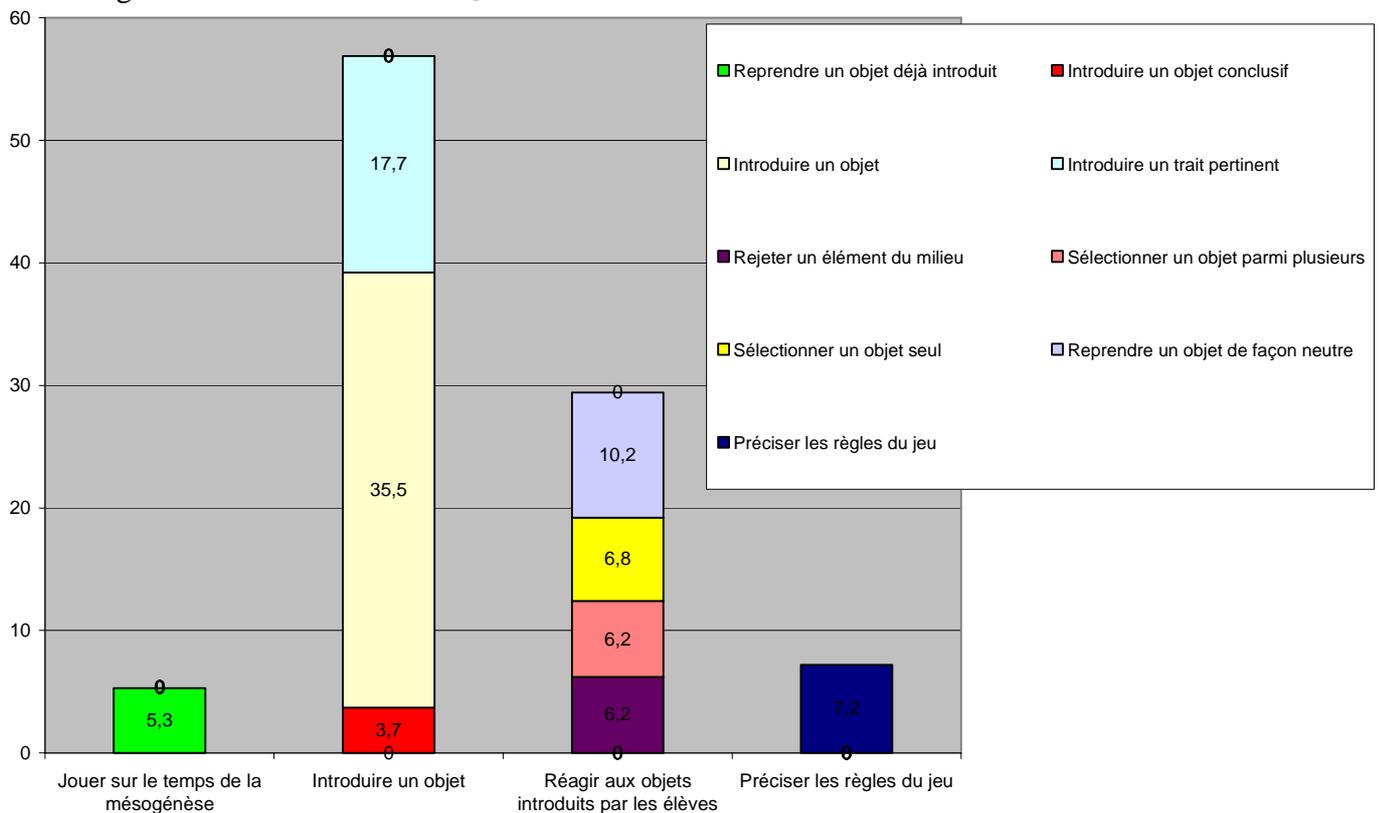
- la technique principale utilisée par l'enseignant est la régulation ;
- de nombreux épisodes font l'objet d'institutionnalisation ;

Nous analysons davantage plus précisément les techniques « réguler » (11.2.2.3), « institutionnaliser » (11.2.2.4) et dévoluer (11.2.2.5) dans les paragraphes qui suivent.

11.2.2.3 L'enseignant régule le milieu en y apportant des éléments

L'enseignant A utilise une grande variété de techniques pour contrôler l'évolution du milieu. Les deux principales actions sur la mésogénèse sont d'introduire des objets dans le milieu et de réagir aux objets introduits par les élèves.

Le graphique n°6-A₁ montre la répartition des techniques de régulation utilisées par l'enseignant A lors de la séance A₁ :



Graphique n°6-A₁ : Répartition (en % du temps de la séance) des techniques mésogénétiques utilisées par l'enseignant A lors de la séance A₁

On remarque que la technique principale utilisée par l'enseignant est d'introduire des objets dans le milieu. Ses réactions face aux propositions des élèves sont multiples et leur répartition équilibrée : l'enseignant reprend un objet introduit dans le milieu de façon neutre, sélectionne un objet seul ou parmi plusieurs et rejette explicitement un élément du milieu.

On retrouve ici le poids topogénétique de l'enseignant dans la mésogénèse : il introduit davantage d'objets dans le milieu plutôt qu'il n'agit sur ceux introduits par les élèves.

Nous illustrons par l'extrait suivant la manière dont l'enseignant régule le milieu. Il est issu du jeu n°1 du thème 4 [T 343-352] :

343. E :	alors gramme on l'utilise souvent pour la chimie mais l'unité en physique c'est le kilogramme d'accord donc c'est le kilogramme c'est bon ça pour tout le monde mais on utilise aussi d'autres unités euh que que pour la masse que le kilogramme
344. Romain :	le watt
345. Rose-Marie :	pour la masse ?
346. E :	ouais pour la masse
347. Guillaume :	l'unité de force à la limite
348. E :	autre unité <i>quand vous allez au marché</i> vous dites donc par exemple vous dites je voudrais un kilogramme de clémentines mais vous pouvez dire quoi aussi
349. Guillaume :	livre
350. E :	oui on peut dire Guillaume
351. Guillaume :	des livres
352. E :	on peut utiliser une livre

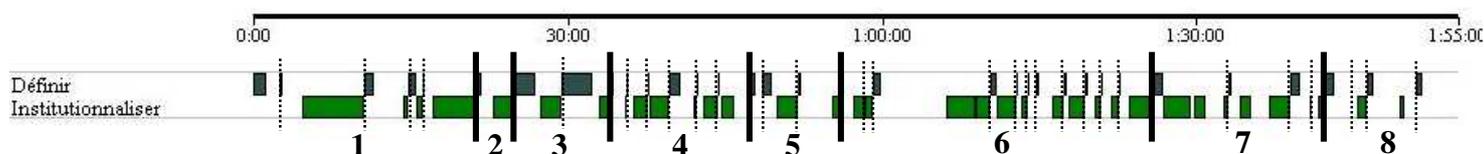
Dans cet extrait, l'enjeu du jeu est pour les élèves de citer quelques unités associées à la masse. L'enseignant ne reprend pas les propositions des élèves : watt [T 344] et « unité de force à la limite » [T 347] et introduit un contexte particulier : celui du marché [T 348]. Cet élément introduit dans le milieu par l'enseignant conduit un élève à trouver la réponse attendue : la régulation a permis à l'enseignant de raccourcir l'interaction, qui est ici de type I-R-E.

Le lecteur pourra trouver des situations similaires au jeu n°5 du thème 4 et au jeu n°3 du thème 5 (voir dans les annexes [T 414-430], p. 54 et [T 512-552], pp. 58-59).

11.2.2.4 De nombreux savoirs sont institutionnalisés : une stabilisation fréquente du milieu par l'enseignant

Nous avons vu lors du 11.2.2.2 (p. 178) qu'il y a beaucoup d'épisodes dans lesquels l'enseignant institutionnalise des savoirs.

Le graphique n°7-A₁ indique les épisodes qui donnent lieu à des définitions de jeux et à des institutionnalisations de savoirs (les jeux sont séparés par les lignes pointillées) :



Graphique n°7-A₁ : Evolution des techniques définir et institutionnaliser lors de la séance A₁

Nous remarquons sur le graphique n°7-A₁ que la plupart des jeux d'apprentissage joués (séparés par des pointillés) donne lieu à une institutionnalisation (30 sur 36). Chaque institutionnalisation se matérialise dans cette séance par une trace écrite sur le cahier des élèves. Les savoirs institutionnalisés correspondent donc à chaque fois à ce qui va être écrit et sont tous différents : définition de l'énergie, principe de conservation, différentes unités, corrections d'exercices calculatoires, définition de l'énergie cinétique, potentielle, thermique, rayonnante, modèle de la chaîne énergétique sont par exemple successivement abordés (la liste n'est pas exhaustive).

11.2.2.5 L'intégration des savoirs dans la mésogénèse : différentes modalités de dévolution

L'enseignant utilise dans la séance A₁ différentes modalités de dévolution, qui sont autant de rapport différent au temps dans la mésogénèse. Nous présentons ici ces modalités et l'interprétons par le souci qu'a l'enseignant d'intégrer les savoirs au delà de leur succession.

- Tout d'abord, un moment important dans le processus de dévolution des jeux est le moment où l'enseignant A définit un jeu d'apprentissage.

Nous précisons ce point en prenant un exemple issu du jeu n°1 du thème 2 sur la définition de l'énergie [T 281] :

281. E :	(...) okay donc nous allons maintenant comme je vous l'ai dit nous focaliser sur le sens physique du mot énergie donc c'est la première partie donc on va définir on va essayer de définir ce qu'est l'énergie donc définition de l'énergie alors est-ce que quelqu'un pourrait essayer de donner une définition qu'est-ce que l'énergie alors est-ce que quelqu'un a une idée qu'est-ce que l'énergie ?
----------	--

L'enseignant définit ici un nouveau jeu : les élèves doivent proposer une définition à l'énergie. Toutefois, la formulation clarifie dans un deuxième temps ce que doit être cette définition : ce doit être un « essai », ce qui suggère que quelque soit la proposition faite, celle-ci sera un point de départ pour aller plus loin. De plus, ce doit être une « idée », ce qui veut dire que quelques mots suffisent, plutôt qu'une définition qui est une structure ordonnée de mots. La stratégie de l'enseignant est donc ici d'inciter les élèves à jouer au jeu puisque les exigences de participation au jeu sont moindres (essayer de donner une idée) que l'enjeu (donner une définition). En ce sens, la définition du jeu est un moment important de sa dévolution et l'enseignant utilise ces deux techniques pour ouvrir le milieu à un ensemble de possibles pour les élèves.

- L'enseignant commence également la dévolution de certains jeux bien avant que le jeu dévolu ait lieu.

Le premier exemple que nous prenons montre comment l'enseignant tente d'engager les élèves dans l'institutionnalisation des savoirs afin de faciliter leur participation aux futurs jeux. Il est issu du jeu n°5 du thème 1 à propos de quelques contextes d'usage du mot « énergie ». L'enseignant, en institutionnalisant le savoir à l'écrit, mentionne l'apport des élèves :

279. E :	oui c'est ça <i>Corentin</i> c'est comme une problématique pourquoi cette notion est importante donc pourquoi on l'utilise donc pourquoi cette notion est importante le mot problématique c'est intéressant donc pourquoi cette notion est importante donc <i>comme l'ont bien résumé tout à l'heure Joël et Adrien</i> donc cette notion elle est importante donc oui donc cette notion elle est importante parce que donc les sources d'énergie donc parce que les sources d'énergie donc telles que <i>comme l'a dit Joël</i> le charbon, le pétrole, s'épuisent et que ces sources donc d'énergie rentrent <i>comme l'avait dit Adrien</i> dans le processus donc de réchauffement climatique donc et que donc ces sources d'énergie rentrent dans le processus de réchauffement climatique (...)
----------	---

La reprise des propos et des noms des élèves qui les ont tenus relève ici d'une stratégie pour engager les élèves dans les jeux d'apprentissage à venir. Cette forme de dévolution est une technique d'articulation d'un engagement passé d'élèves dans un jeu pour faciliter leur participation au-delà du moment où ils ont été « joueurs ». En ce sens, cette technique participe à la mésogénèse. L'enseignant justifie dans l'entretien post cette technique [Post 46] :

45. NH :	t'utilises beaucoup les prénoms des élèves en fait est-ce que tu peux dire pourquoi tu fais ça quel intérêt tu y trouves est-ce que c'est un truc que tu fais tout le temps depuis tout le temps comment
46. E :	j'essaie ouais de le faire souvent <i>je trouve que ça valorise bien l'élève ça permet de rebondir aussi sur ce qu'il vient de dire donc ça me paraît important de pouvoir rebondir sur ce que dit tel ou tel élève</i>

Le deuxième exemple montre comment une série de jeux sert à dévoluer des jeux futurs. Les 5 premiers jeux de la séance servent à définir l'objet de la séance (l'énergie) et une problématique (« le défi énergétique ») : il s'agit du thème 1 abordé lors de la séance A₁. On peut interpréter ce premier thème comme une stratégie que l'enseignant met en œuvre pour résoudre le paradoxe qui justifie la dévolution : l'enseignant ne veut pas afficher directement ce qu'il souhaite que les élèves apprennent (les savoirs liés à l'énergie) et il veut par là les mettre en situation de « vouloir apprendre » pour la suite de la séance. Les premiers jeux engagent le reste de la séance, notamment par l'utilisation de documents qui seront réinvestis tout au long de la séance. L'enseignant se justifie ainsi dans l'entretien post [Post 113-115] :

113. E :	ça c'est la notion un petit clin d'œil sur l'énergie renouvelable <i>et on va en reparler après</i> qu'est-ce que ça veut dire
114. NH :	okay avec les éoliennes d'accord après le document 4
115. E :	bah c'était comment on peut définir l'énergie c'est par son principe de conservation ça c'est quelque chose auquel ils ont moins enfin auquel ils vont pas peut-être et puis <i>le but du coup c'est de réexploiter ces documents aussi on va dire que ça fait double emploi de les réexploiter après quand on va parler du principe de conservation on fera référence au texte etc. de faire un double</i>

- Un autre type de dévolution est l'introduction dans le milieu d'un élément vu dans des séances antérieures.

L'échange ci-dessous est un extrait de la transcription qui arrive en toute fin de séance [T 1248-1255]. Il est significatif car à la fin de cette séance sur l'énergie, l'enseignant fait un lien à partir de la pile, comme exemple de stockage de l'énergie, avec les séances précédentes qui ont porté sur l'oxydoréduction :

1248. E :	(...) donc l'énergie électrique c'est dû aux électrons donc ça veut dire ici qu'il y a une circulation d'électrons ils viennent d'où ces électrons
1249. Corentin :	de la solution
1250. Romain :	de la solution en ions
1251. E :	alors dans la solution est-ce qu'il y a des électrons
1252. Corentin :	des métaux
1253. E :	des métaux exactement et donc des réactions avec les métaux on a des transferts d'électrons ça s'appelle comment ça ?
1254. Joël :	l'oxydoréduction
1255. E :	oui exactement très bien Joël ça s'appelle l'oxydoréduction bah dans les piles c'est exactement ce qui est utilisé <i>ce sont des réactions d'oxydoréduction de la même manière qu'on a vu la dernière fois</i>

Ce qui nous semble intéressant dans cet échange, c'est que l'enseignant introduit ce qui a été fait lors des séances précédentes : il crée ainsi une situation où les élèves ont la possibilité de reconnaître comme signifiant l'enseignement qu'ils ont eu de l'oxydoréduction. Autrement dit, cet échange permet à l'élève de donner une signification à son action présente par une mise en perspective de son action passée. Non seulement il y a quelque chose à apprendre, que l'enseignant est *réticent* à dévoiler, mais il y avait aussi quelque chose à apprendre dans la séance précédente puisque ce quelque chose est mobilisable hors de la séance qui lui était consacrée.

Ces différentes modalités de la dévolution ont en commun d'inscrire la mésogénèse dans un rapport au temps qui n'est pas forcément celui du jeu :

- une dévolution à l'échelle du jeu pour que les élèves s'y projettent ;
- une dévolution de jeux futurs, qui participe déjà à préparer la mésogénèse à venir ;
- une dévolution, qui intègre des jeux passés dans la mésogénèse présente ;

Nous interprétons ce rapport au temps de ces différentes modalités de dévolution comme participant à *l'intégration* des savoirs, indépendamment de l'enjeu de savoir proprement dit du jeu en cours. En effet, la problématisation, l'engagement nominatif, le rappel d'éléments passés dans d'autres séances sont autant de gestes qui permettent de donner un sens aux savoirs, hors des temps des jeux d'apprentissage dont ils sont spécifiquement l'objet.

11.2.2.6 Caractéristiques de la mésogénèse, vue des gestes de l'enseignant, de la séance A₁ : conclusion

Les principales caractéristiques de la mésogénèse pour la séance A₁ sont :

- les interactions sont majoritairement à l'initiative de l'enseignant et entre l'enseignant et les élèves ;
- ces interactions sont de type I-R-P et I-R-E et l'enseignant régule le milieu de façon à raccourcir les échanges ;
- de nombreux savoirs sont institutionnalisés et ils sont régulièrement institutionnalisés ;
- l'intégration des savoirs se fait par différentes modalités de dévolution, à l'intérieur des jeux d'apprentissage, mais aussi à l'échelle d'une succession de jeux.

11.2.3 Une chronogénèse « additive » d'énoncés majoritairement grammaticaux

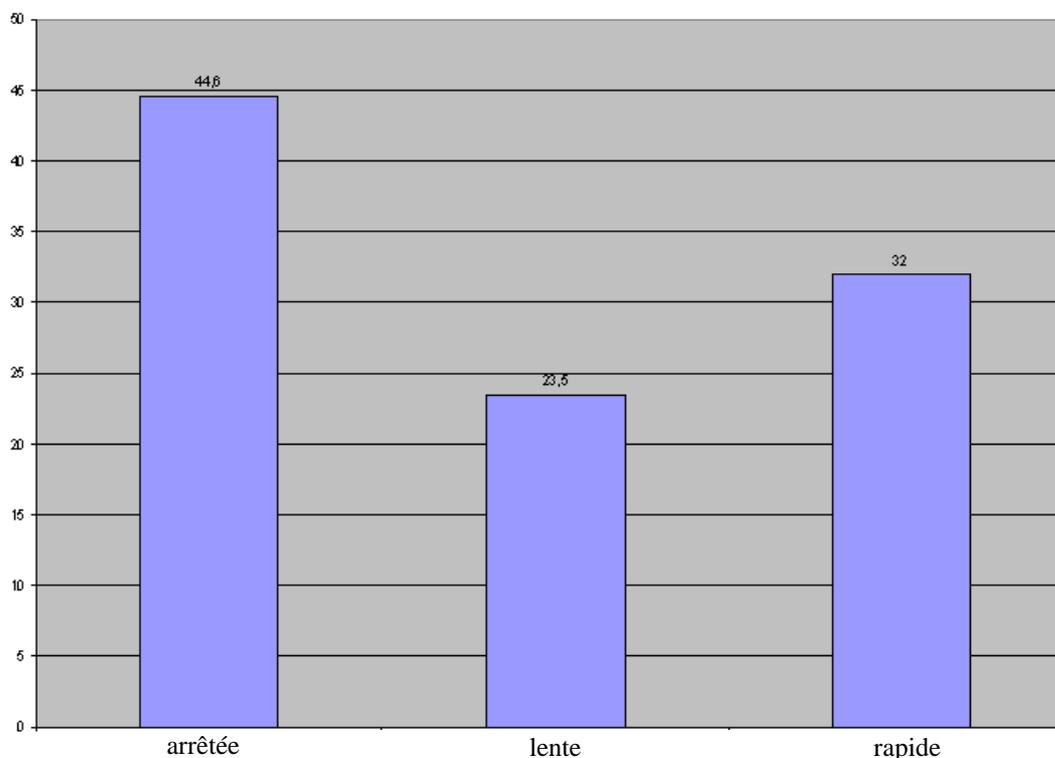
Nous abordons dans notre travail la chronogénèse sous une double dimension :

- du point de vue de la nature des savoirs, nous nous intéressons à la logique qui sous-tend la structuration des savoirs institutionnalisés (leur succession dans la séance par exemple). Nous développerons cette dimension de la chronogénèse en analysant les jeux de langage dans la partie 11.3 de l'analyse de la séance A₁ ;
- du point de vue de l'évolution du milieu, nous nous intéressons à décrire comment le milieu évolue, par quels types d'énoncés et à quel rythme. C'est cette dimension de la chronogénèse qui nous intéresse dans cette partie.

Nous décrivons alors dans cette partie la chronogénèse de deux manières. Tout d'abord, nous nous intéressons à la dynamique des jeux d'apprentissage (11.2.3.1), puis nous précisons l'évolution des types d'énoncés qui sont institutionnalisés (11.2.3.2).

11.2.3.1 Une succession de jeux rapidement joués, à chronogénèse accélérée

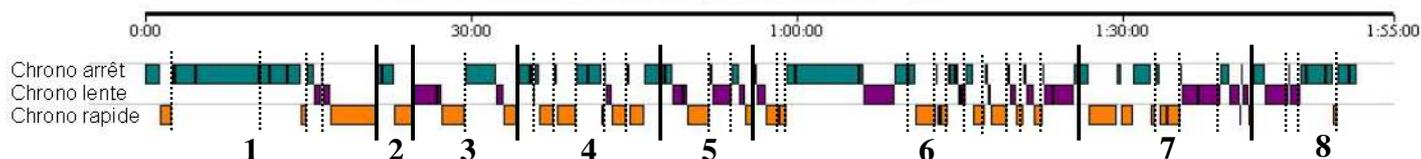
Le graphique n°8-A₁ montre la répartition en temps des différentes modalités de la chronogénèse.



Graphique n°8-A₁ : Répartition (en % du temps de la séance) de la chronogénèse lors de la séance A₁

On remarque ainsi que la chronogénèse est souvent arrêtée (44.6% du temps de la séance), ce qui signifie que la formulation des savoirs à enseigner ne progresse pas. La chronogénèse est lente pour 23.5% et rapide pour 32% du temps de la séance.

Nous pouvons préciser cette répartition en nous intéressant à l'évolution des descripteurs liés à la chronogénèse lors de cette séance : c'est ce que montre le graphique n°9-A₁ :



Graphique n°9-A₁ : Evolution de la chronogénèse lors de la séance A₁

Nous observons alors que :

- il y a deux parties importantes où la chronogénèse est arrêtée. Au début de la séance (thème 1 - jusqu'à la minute 15), ce qui signifie que la séance met un certain temps à démarrer du point de vue des savoirs scientifiques. A partir de la minute 59 jusqu'à 1h10 minutes (thème 6), il s'agit du jeu n°3 du thème 6, qui consiste en un travail individuel ;
- hormis ces deux parties, la séance est une succession d'épisodes à la chronogénèse arrêtée, lente et rapide : nous pouvons de plus décrire la chronogénèse de la séance comme une succession de jeux rapidement joués, dont la chronogénèse s'accélère au cours du jeu (27 jeux sur 36) ;

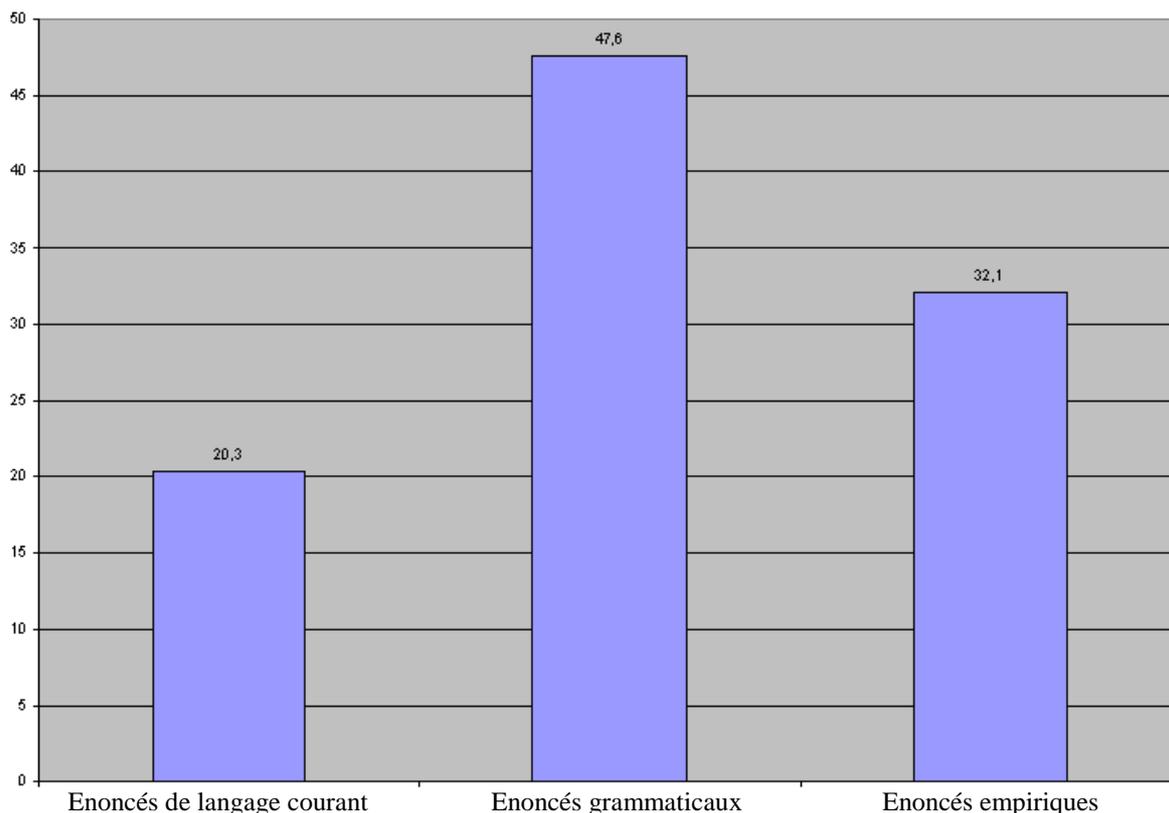
Nous avons vu (voir 11.2.2.4) que les institutionnalisations étaient fréquentes et portent sur des savoirs différents. Nous qualifions la chronogénèse d'« additive » pour décrire la succession des jeux dont les enjeux sont indépendants les uns des autres.

11.2.3.2 Un enseignement d'énoncés de type majoritairement grammatical

Nous avons catégorisé les types d'énoncés qui caractérisent l'enjeu des jeux joués :

- des énoncés de langage courant : l'enjeu du jeu se fonde dans ce cas sur l'émergence d'énoncés dits dans le langage courant ;
- des énoncés grammaticaux : l'enjeu du jeu est de construire des savoirs de type conceptuel. Ce sont des éléments langagiers (des énoncés) qui permettent de décrire des phénomènes empiriques ;
- des énoncés empiriques : l'enjeu du jeu est de construire des énoncés de savoir, qui se disent dans les énoncés grammaticaux et qui sont des descriptions des phénomènes empiriques.

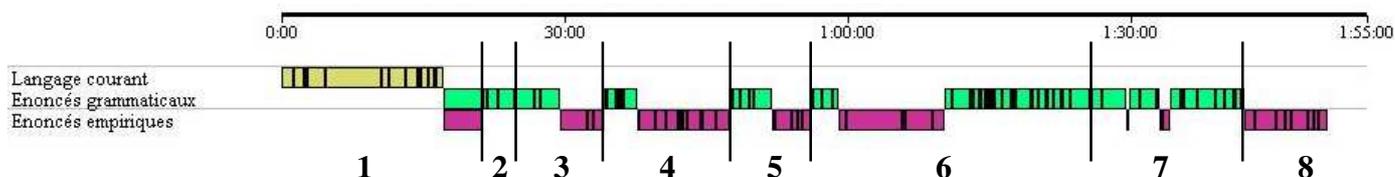
Nous rendons compte dans le graphique n°10-A₁ de la répartition des types d'énoncés qui sont l'objet de l'enseignement / apprentissage lors de la séance A₁ :



Graphique n°10-A₁ : Répartition (en % du temps de la séance) des types d'énoncés lors de la séance A₁

Nous observons donc à partir du graphique n°10-A₁ que la majorité des savoirs scientifiques qui sont l'enjeu d'un jeu sont dans cette séance des énoncés grammaticaux.

Le graphique n°11-A₁ indique l'évolution dans la séance de ces descripteurs :



Graphique n°11-A₁ : Evolution des types d'énoncés lors de la séance A₁

Nous remarquons dans le graphique n°11-A₁ que les énoncés de langage courants sont concentrés au début de la séance, lors du thème n°1.

On observe également qu'il y a une alternance de jeux dont l'enjeu concerne des énoncés grammaticaux et de jeux dont l'enjeu concerne des énoncés empiriques.

A chaque énoncé grammatical construit succède une construction d'énoncés empiriques qui sont des applications des énoncés grammaticaux construits précédemment. Par exemple, au principe de conservation de l'énergie (jeu n°1 du thème 3) succède une application sur le mouvement d'un caddie (jeu n°2 du thème 3).

Nous détaillons plus précisément la nature de ces énoncés dans la partie 11.3.

11.2.3.3 Caractéristiques de la chronogénèse de la séance A₁ : conclusion

Nous avons relevé ici les principales caractéristiques de la chronogénèse pour la séance A₁ :

- la séance est une « addition » de jeux à chronogénèse accélérée ;
- les énoncés grammaticaux sont majoritaires ;
- les jeux où les énoncés grammaticaux sont les enjeux alternent avec les jeux où les énoncés empiriques sont les enjeux ;
- les énoncés de langage courant sont en début de séance.

11.2.4 Conclusions

Une topogénèse majoritairement sous la responsabilité de l'enseignant

La topogénèse est sous la responsabilité des élèves en début de séance, les enjeux des jeux sont alors liés à des énoncés de langage courant et les formes de communication sont dialogiques. La topogénèse passe ensuite sous la responsabilité majoritaire de l'enseignant, avec des enjeux de savoirs qui sont majoritairement des énoncés grammaticaux et des formes de communication autoritatives. On peut interpréter ce passage comme une dévolution des jeux à venir, dont l'enjeu principal concerne des énoncés grammaticaux.

On a dans la séance A₁ une action conjointe qui se déroule dans une organisation sociale de la classe majoritairement en classe entière (83.5% du temps de la séance), c'est-à-dire que l'enseignant se tient le plus souvent au tableau, devant le groupe classe. Cette organisation particulière de la classe favorise une forme particulière des échanges de communication avec les élèves.

La topogénèse est alors essentiellement du côté de l'enseignant : il prend en charge l'évolution du milieu de manière autoritative. La quasi-exclusivité des échanges se font de plus entre l'enseignant et les élèves (92%), plutôt qu'entre les élèves (8%). L'enseignant a

donc un rôle central puisque la majorité des échanges passe par lui et que l'organisation de la classe fait qu'il est « sur scène ». Les élèves ont la responsabilité du milieu quand de nouveaux savoirs ne sont les enjeux des jeux d'apprentissage.

Une mésogénèse interactive : l'enseignant alimente l'interaction en introduisant des éléments dans le milieu et en réagissant aux réponses des élèves

La séance A₁ est fortement interactive (78% du temps de la séance). Toutefois, c'est l'enseignant qui contrôle l'évolution du milieu en initiant la plupart des interactions et en introduisant majoritairement des éléments dans le milieu. L'enseignant laisse ainsi vivre majoritairement les éléments du milieu qui correspondent au point de vue institutionnel du savoir à enseigner. Les formes d'interaction sont alors entre l'enseignant et un élève particulier, de type I-R-E (donc courtes) ou I-R-P jusqu'à ce qu'un élève donne la réponse attendue.

Une chronogénèse « additive » de jeux à chronogénèse accélérée, dont les enjeux sont majoritairement des énoncés de type grammatical

La séance A₁ est une succession de jeux à chronogénèse accélérée, dont les enjeux de savoir sont indépendants les uns les autres, puisque l'institutionnalisation de la plupart des jeux donne lieu à une trace écrite. Cette succession de jeux joués peut se décrire comme une addition de jeux joués indépendamment. Toutefois, l'enseignant intègre anciens et nouveaux savoirs en jouant sur des échelles de temps de la dévolution. En effet, il assure la continuité des savoirs au-delà de leur succession, puisque certains jeux préparent les jeux à venir et reprennent des savoirs déjà vus antérieurement. Autrement dit, l'enseignant A intègre des savoirs institutionnalisés de manière séparés en jouant sur des échelles de temps de dévolution qui peuvent dépasser le cadre temporel d'une séance.

De nombreux savoirs sont institutionnalisés et ils relèvent majoritairement d'énoncés grammaticaux. On observe de plus qu'il y a alternance entre des phases où ce sont des énoncés grammaticaux qui sont l'enjeu de l'action conjointe et d'autres phases où les énoncés empiriques sont premiers.

11.3 La nature des savoirs enseignés

Nous complétons l'analyse précédente en analysant les jeux de langage qui sont joués lors de la séance A₁. Il s'agit alors d'affiner la description de :

- la mésogénèse, en nous intéressant à l'évolution du milieu, du point de vue des savoirs qui le constituent ;
- la chronogénèse, en ciblant plus précisément les savoirs qui sont dits sous la forme du langage courant et les savoirs scientifiques qui sont dits en énoncés grammaticaux et empiriques.

Nous structurons notre analyse en spécifiant la nature et la fonction des différents types d'énoncés. Nous étudierons donc successivement :

- les énoncés de langage courant (11.3.1) ;
- les énoncés grammaticaux (11.3.2) ;
- les énoncés empiriques (11.3.3) ;

Enfin, nous complétons l'étude de l'épistémologie pratique de l'enseignant A dans la séance A₁ en dégagant certaines propriétés relevant des théories sur les savoirs scientifiques et la science, ainsi que sur le sens que l'enseignant donne à son action (11.3.4).

11.3.1 Les énoncés de langage courant : objets de problématisation

Nous avons vu lors de la partie 11.2.3.2 (p. 185) que les énoncés de langage courant sont présents au début de la séance. De plus, ce début de séance, sous la responsabilité des élèves, sert à dévoluer les jeux suivants (voir 11.2.2.5, p. 181). Cette dévolution se dévoile lors du dernier jeu du thème n°1, dans le sens où l'enseignant met le doigt sur ce qui justifie à ses yeux une étude de l'énergie : c'est ce jeu que nous analysons plus particulièrement ici.

L'enseignant commence par définir ce jeu en introduisant l'idée d'une actualité de l'énergie [T 251] :

251. E :	(...) (16:13) Juste un point alors pourquoi l'énergie en ce moment <i>on en parle beaucoup ?</i> (16:17)
----------	--

Les élèves apportent ensuite des éléments au milieu [T 252-270] :

252. Corentin :	parce qu'il XXXXXX
253. ?? :	XXXXXXXXXXXX
254. E :	oui Joël
255. Joël :	<i>parce que les ressources avec lesquelles on faisait de l'énergie d'habitude elles s'épuisent</i>
256. E :	d'accord est-ce que tu peux donner des exemples
257. Joël :	le charbon, le pétrole,
258. Corentin :	le pétrole
259. E :	voilà donc qui s'épuisent et donc quel est le problème
260. Joël :	<i>bah on sait plus trop comment on va produire de l'énergie après</i>
261. E :	exactement <i>comment on va pouvoir remplacer ces sources d'énergie</i> d'accord c'est un seul point pourquoi on parle de l'énergie en ce moment aussi euh Adrien
262. Corentin :	<i>parce qu'on l'a gaspillé</i>
263. Adrien :	<i>parce que ça pollue la planète</i>
264. E :	parce que alors qu'est-ce qui pollue
265. ?? :	les gaz
266. Adrien :	<i>bah la combustion de l'énergie enfin le fait que l'on en consomme</i>
267. E :	oui d'accord donc ça amène donc de la pollution c'est quoi l'incidence au niveau de cette pollution
268. Adrien :	le réchauffement
269. Romain :	<i>le réchauffement climatique</i>
270. E :	donc le réchauffement on en parle beaucoup donc le réchauffement climatique exactement

Plusieurs éléments nous semblent significatifs dans cet échange.

Tout d'abord, les élèves et l'enseignant utilisent des énoncés de type différent. En effet, du point de vue des élèves, l'énergie se fabrique : « les ressources avec lesquelles *on faisait* de l'énergie » [T 255], « comment on va *produire* de l'énergie » [T 260], et se consomme : « parce qu'on l'a gaspillé » [T 262], « le fait que l'on en consomme » [T 266]. Ces énoncés sont cohérents avec les différents travaux sur les conceptions¹⁰⁶ : les énoncés des élèves se réfèrent donc à un usage courant du mot énergie. L'enseignant reformule l'intervention de l'élève « on sait plus trop comment on va produire de l'énergie » [T 260] par « comment on

¹⁰⁶ Nous renvoyons le lecteur à la partie 5.3.1.2 de la thèse, qui concerne les conceptions pré-énergétiques des élèves : « L'énergie est associée à « produit », « utilisation », « consommation » : elle tend à disparaître, car elle suit un circuit de consommation » (pp. 68-69).

va pouvoir remplacer ces sources d'énergie » [T 261] : l'enseignant utilise donc un énoncé de type scientifique. Cet énoncé peut être qualifié de plus d'empiriste car il ne dit rien sur les règles qui conditionnent le jeu de langage joué (par exemple la signification du mot « source » ou bien l'utilisation du verbe « remplacer » à la place du verbe « produire » de l'élève).

Deuxièmement, si l'échange précédent conduit à associer l'actualité de l'énergie au réchauffement climatique, l'enseignant institutionnalise ensuite deux types de problématisation : une problématisation liée à l'enseignement d'énoncés grammaticaux et une autre liée à l'enseignement d'énoncés empiriques.

La problématisation liée aux énoncés grammaticaux est introduite dans le milieu par l'enseignant [T 272-277] :

272. E :	(17 :04) (...) <i>qu'est-ce que ça signifie le mot énergie</i> donc nous allons nous intéresser au sens au sens singulier ou pluriel on va voir au sens du mot énergie
273. Corentin :	au sens quoi
274. E :	au sens physique <i>au sens physique du mot énergie</i> donc au sens physique du mot énergie donc <i>par exemple à ces différentes formes</i> vous pouvez marquer à ces différentes formes à ce qu'on vient de mettre en évidence donc on va détailler après donc <i>son principe de conservation</i> qu'est-ce que ça signifie donc son principe de conservation, à ses transformations quand vous avez dit ça passe d'une forme à l'autre donc <i>quelles transformations sont mises en jeu</i> donc à ses transformations

L'enseignant problématise le chapitre : il s'agit de s'intéresser au « sens physique du mot énergie » [T 274], sens physique dont il donne « des exemples » : les « formes d'énergie », « le principe de conservation », « les transformations de l'énergie » [T 274].

L'objectif qu'il donne donc à ce chapitre est la reconnaissance d'un sens particulier du mot « énergie », celui de la physique, qui passe par la mise en relation de plusieurs concepts.

D'autre part, il attribue un autre objectif au chapitre [T 277 –281] :

277. E :	(18 :58) donc on va reprendre ce que vous venez de me dire donc pourquoi donc pourquoi la notion d'énergie est importante notamment actuellement donc pourquoi la notion d'énergie vous pouvez le noter à la suite
278. Corentin :	c'est la problématique ou ?
279. E :	oui c'est ça Corentin <i>c'est comme une problématique</i> pourquoi cette notion est importante donc pourquoi on l'utilise donc pourquoi cette notion est importante le mot problématique c'est intéressant donc pourquoi cette notion est importante donc comme l'ont bien résumé tout à l'heure Joël et Adrien donc cette notion elle est importante donc oui donc cette notion <i>elle est importante parce que donc les sources d'énergie donc parce que les sources d'énergie donc telles que comme l'a dit Joël le charbon, le pétrole, s'épuisent et que ces sources donc d'énergie rentrent comme l'avait dit Adrien dans le processus donc de réchauffement climatique (...)</i>
(...)	
281. E :	(...) <i>ça ce problème énergétique c'est ce qu'on appelle le défi énergétique d'accord donc la notion de défi énergétique que vous allez d'ailleurs devoir relever puisque c'est vous les futurs citoyens d'accord donc c'est vous qui allez bien sûr c'est vous qui allez devoir prendre des décisions par rapport à ces choses là donc c'est ce qu'on appelle le défi énergétique</i> d'accord c'est bon pour tout le monde (21 :16)

C'est un élève (Corentin, [T 278]) qui propose à l'enseignant de qualifier de « problématique » l'actualité liée à l'énergie. L'enseignant accepte le terme et introduit le terme « défi énergétique » [T 281] pour problématiser la séance. L'enseignant lie alors dans la même expression la fin à venir des sources fossiles d'énergie et le réchauffement climatique : cette expression est ici un énoncé empirique sur le monde, le défi énergétique existe et il s'exprime en termes scientifiques (« les sources d'énergie s'épuisent », « les sources d'énergie rentrent dans le processus du réchauffement climatique » [T 279]).

L'enseignant A justifie cette problématique du défi énergétique dans l'entretien post [Post 48] :

48. E : *c'est aussi de faire un petit message pas écolo mais un petit message bon bah voilà cette notion là qu'on va étudier on la retrouve aussi dans ça donc c'est important de sensibiliser même s'ils le sont déjà à travers les média mais aussi de remettre une petite piquûre de rappel par rapport à ça c'était un problème important et qu'ils entendent parler et donc on va le voir en cours et faire le lien avec ça*

Autrement dit, il fait part ici de sa volonté de « sensibiliser » les élèves à cette thématique qui n'est « pas écolo mais ». De plus, l'enseignant a l'ambition de « faire le lien » entre le défi énergétique et le cours sur l'énergie [Post 48], autrement dit si l'étude du sens physique de l'énergie constitue le cours, il a l'ambition de lier à cette étude la problématique du défi énergétique. Cette ambition éducative se dévoile à travers la volonté de « responsabiliser » les élèves [Ante 31-32] :

31. NH : et du coup qu'est-ce que t'attends de ce métier tu vois ?
32. E : ce que j'attends ben c'est déjà d'essayer de comment d'apporter quelque chose aux élèves notre matière mais pas seulement donc une certaine vision *essayer à travers de ce métier de les responsabiliser sur des choses aussi importantes de notre vie et puis des défis qu'on aura à relever en tant que citoyen aussi*

Il fait par conséquent de cette volonté, nécessaire selon lui à « relever des défis » citoyens, un axe fort de ce qu'il perçoit de son rôle social à travers son métier d'enseignant de Physique. Cette volonté de responsabiliser les élèves aux défis de l'avenir est en fait cohérente avec ce qu'il exprime des savoirs scientifiques [Ante 22] :

22. E : *(...) ce sont les futurs citoyens de demain c'est bien qu'ils aient des outils pour comprendre même si certains ne continueront pas la physique en tant que tel plus tard au moins qu'ils aient une vision une certaine façon de penser d'appréhender les choses ouais ça semble important aussi dans leur de structurer ça apporte toujours même si ils continueront pas plus tard ça apporte une certaine vision des choses du coup donc oui ça me semble important*

Enseigner la physique, c'est donc pour l'enseignant A apporter des connaissances du champ disciplinaire de la physique et concevoir des situations où ils peuvent les utiliser afin d'« apporter une certaine vision du monde ».

Les énoncés de langage courant servent donc le projet de l'enseignant à double titre :

- la pluralité des usages courants du mot « énergie » justifie une clarification, d'un point de vue de la physique : il y a donc nécessité de construire des énoncés grammaticaux qui permettent cette clarification ;
- la construction des énoncés grammaticaux est « importante » [T 279], car elle est en lien avec la problématique du défi énergétique, dans la mesure où ces énoncés grammaticaux vont permettre « une certaine vision des choses », donc de formuler des énoncés empiriques sur le monde, qui participent d'un autre monde que ceux de langage courant, et pour lesquels l'enseignant fixe des objectifs en terme d'éducation.

11.3.2 Les énoncés grammaticaux : objets

d'enseignement de Physique lors de la séance A₁

Nous avons codé dans cette séance les savoirs scientifiques qui sont enjeux des jeux d'apprentissage comme étant des énoncés de type grammatical. En effet, l'énergie est un concept dont la principale règle d'usage tient à son principe de conservation et dont les déclinaisons (formes d'énergie, sources d'énergie) sont autant de propositions qui permettent une description des phénomènes physiques d'un point de vue énergétique. En ce sens, ces savoirs sont conceptuels et peuvent donc être décrits comme des énoncés grammaticaux.

Nous avons vu en 11.2.3.2 (voir p. 185) que ce type d'énoncés est majoritaire dans la séance A₁. Nous analysons ici le rôle grammatical de ces énoncés en tant qu'il offre des possibilités de combinaison avec les autres énoncés grammaticaux. En d'autres termes, nous nous intéressons ici aux règles qui régissent l'articulation des concepts entre eux.

Nous structurons notre exposé d'un point de vue chronogénétique : les énoncés grammaticaux analysés concernent :

- la définition de l'énergie (11.3.2.1) ;
- le principe de conservation de l'énergie (11.3.2.2) ;
- le modèle de la chaîne énergétique (11.3.2.3).

Nous nous intéressons plus précisément à la manière dont ces énoncés grammaticaux sont construits dans une syntaxe épistémologique implicite. Notre objectif ici est de décrire cet implicite et d'en donner une interprétation : l'implicite vise à dévoluer les situations où ces savoirs sont en jeu.

11.3.2.1 La définition de l'énergie

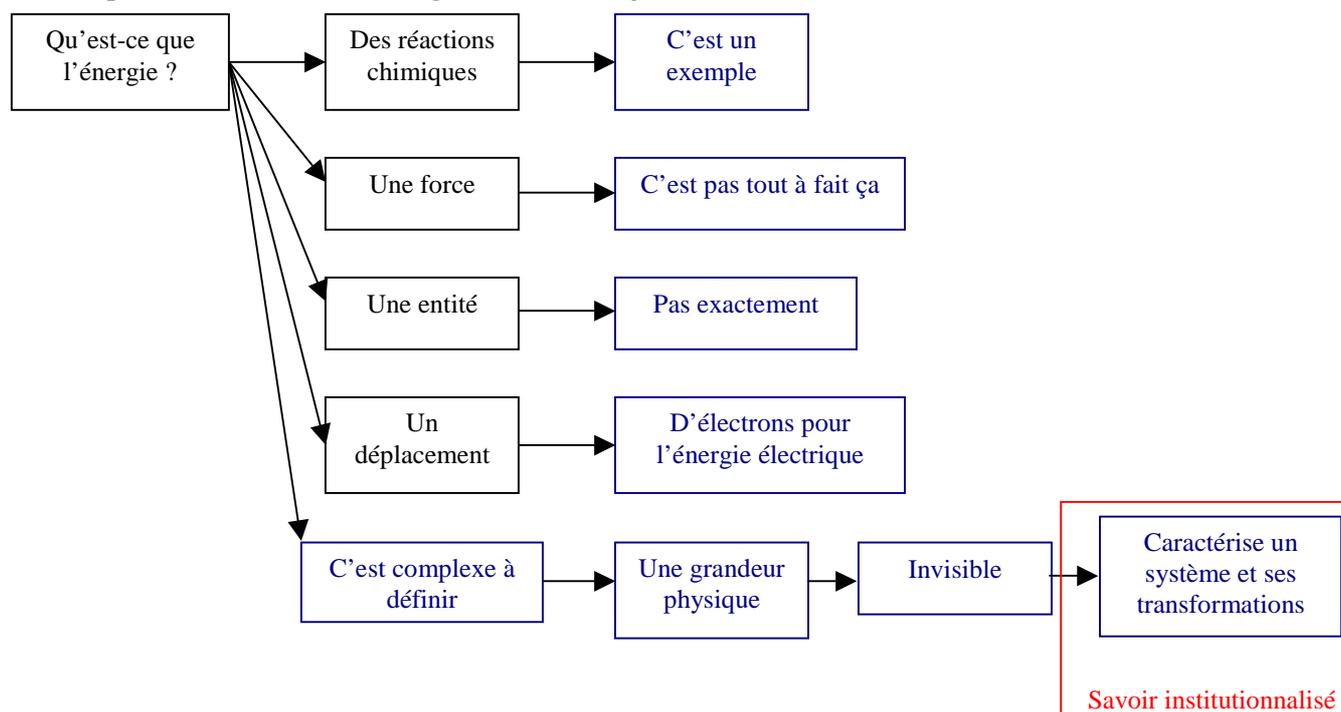
La définition de l'énergie est l'enjeu du jeu n°1 du thème 2. L'enseignant commence par définir le jeu, en restreignant l'usage du mot « énergie » à son « sens physique » [T281] :

281. E :	(...) okay donc nous allons maintenant comme je vous l'ai dit nous focaliser <i>sur le sens physique du mot énergie</i> donc c'est la première partie donc on va définir on va essayer de définir ce qu'est l'énergie donc définition de l'énergie alors est-ce que quelqu'un pourrait essayer de donner une définition qu'est-ce que l'énergie alors est-ce que quelqu'un a une idée qu'est-ce que l'énergie (21 :49)
----------	--

Le passage suivant illustre la manière dont l'enseignant et les élèves jouent ce jeu d'apprentissage :

284. Camille :	c'est des réactions chimiques
285. E :	alors ben là tu as donné un exemple par exemple on peut trouver de l'énergie dans des réactions chimiques alors il nous faut trouver une définition plus large parce qu'il n'y a pas que des réactions chimiques alors comment on peut définir c'est quoi l'énergie est-ce que vous avez une idée ou pas
286. Maxime :	c'est une force
287. E :	alors c'est une force c'est intéressant on a vu la notion de force on verra que c'est pas tout à fait une force
288. Corentin :	c'est une puissance
289. E :	il y a l'idée de force mais il y a aussi l'idée de déplacement donc c'est pas exactement une force
290. Corentin :	c'est une entité
291. E :	donc c'est une entité c'est pas une entité pas exactement est-ce que vous avez une idée non
292. Camille :	c'est un déplacement de particules non
293. E :	alors ça peut être le déplacement de particules dans le cadre de quel type d'énergie oui l'énergie Corentin
294. Corentin :	électrique
295. E :	électrique exactement c'est le déplacement d'électrons non donc est-ce que vous voyez une définition plus large que ça qui englobe tout ça en fait non bah c'est un peu normal parce que c'est quelque chose qui est très difficile à définir bah non mais c'est vrai donc <i>c'est très difficile à définir pourquoi parce que l'énergie c'est un peu tout ça nous ce qu'on voit c'est les effets donc c'est les effets de l'énergie d'accord c'est quelque chose c'est une grandeur physique mais qui est invisible</i> on peut dire d'accord nous on en voit ces effets (...) donc c'est une grandeur physique donc qui caractérise un système donc c'est la définition on va dire la plus générale possible qu'on puisse donner <i>qui caractérise un système et qui varie lorsque ce système</i> et qui varie lorsque ce système <i>est le siège de transformations (...)</i>

On peut schématiser la mésogénèse¹⁰⁷ de ce jeu :



L'enseignant sollicite les élèves en leur demandant de proposer des définitions pour l'« énergie ». La forme de communication est ici autoritative, car l'enseignant, plutôt que d'explorer les points de vue suggérés par les élèves, les compare à une norme : ce qu'est l'énergie du point de vue des physiciens.

La forme donnée à la mésogénèse et la topogénèse induite par la forme de communication préparent donc l'institutionnalisation du savoir : l'enseignant rejette de manière autoritative les propositions des élèves [T 287-289-291], mais se sert des différents rejets pour montrer que l'énergie est complexe à définir.

La phase d'institutionnalisation du jeu réalise le passage entre les propositions des élèves et le savoir institutionnel (« c'est une grandeur physique ») : le jeu de langage de l'enseignant passe alors par différents « états » épistémologiques. L'énergie est tout d'abord définie comme étant « quelque chose » qui est commun à une diversité. L'enseignant va alors plus loin : « c'est quelque chose c'est une grandeur physique mais qui est invisible ». Deux registres sont ici employés : le registre sensoriel (« invisible ») et le registre propre à la physique (« une grandeur »). Ainsi, pour un même mot, l'enseignant applique l'évidence des sens et une propriété liée à la capacité d'être mesurée, autrement dit une propriété sensible et une propriété qui nécessite un élément de langage (une règle fixant la manière de mesurer cette grandeur).

La suite du jeu consiste en l'institutionnalisation de la définition de l'énergie : « une grandeur physique qui caractérise un système et qui varie lorsque ce système est le siège de transformations » [T 295]. Il y a donc passage d'un système où l'énergie est un représenté, ce « quelque chose » commun à tout phénomène ou objet, à une grandeur chargée de décrire l'état et l'évolution d'un système (donc un élément de langage). Cette articulation superpose par conséquent deux perspectives : des éléments de perspective *réaliste*, qui est ce *quelque chose* inaccessible à la vue dont « on voit les effets » mais également des éléments de

¹⁰⁷ En noir, il s'agit des interventions des élèves, en bleu celles de l'enseignant. Nous avons encadré en rouge le savoir qui est finalement institutionnalisé. Ce code couleur est ensuite utilisé par la suite. Les flèches traduisent l'enchaînement des énoncés.

perspective *empiriste*, ce quelque chose a en effet comme propriété première d'être *mesurable*, c'est-à-dire accessible par la mesure, donc par l'expérimentation (au moins dans ces variations, mais l'enseignant ne le dit pas).

L'enseignant mobilise donc différentes conceptions de l'énergie pour passer des propositions des élèves au savoir institutionnel.

On peut donc interpréter ce jeu comme la première marche pour construire le concept et l'enseignant utilise ici un registre réaliste et empiriste, selon notre point de vue, comme brique implicite de construction de l'abstraction du concept.

Cette construction d'ordre syntaxique introduit aussi des écarts de type sémantique : en effet, la distance épistémologique que l'enseignant construit progressivement vis à vis de l'énergie tend à éloigner la signification de ce mot avec les usages dans la langue courante : il y a donc modification du sens donné à l'énergie.

11.3.2.2 Le principe de conservation de l'énergie

Le principe de conservation de l'énergie est institutionnalisé lors du jeu n°1 du thème 3.

Ce jeu proposé par l'enseignant aux élèves est tout d'abord défini :

299. E :	(...) <i>qu'est-ce que ça signifie</i> principe de conservation de l'énergie okay donc c'est la deuxième partie donc principe de conservation de l'énergie donc principe de conservation de l'énergie donc <i>pour cela on va se référer au document 4</i> alors qu'est-ce que quelqu'un donc pourrait me résumer ce qu'est le principe de conservation de l'énergie par rapport au document 4
----------	--

Il s'agit alors de donner du sens au principe de conservation (« qu'est-ce que ça signifie ? ») en s'appuyant sur un document que les élèves doivent résumer. L'enseignant dévolue alors le jeu en faisant lire le texte par une élève. Un échange de type I-R-P conduit ensuite les élèves à citer la phrase de Lavoisier « rien ne se perd rien ne se crée, tout se transforme ». L'enseignant généralise alors cette phrase à l'énergie :

309. Joël :	rien ne se perd rien ne se crée tout se transforme
310. E :	d'accord, donnée par Lavoisier, qui était pour quoi cette phrase ?
311. Joël :	pour les transformations chimiques
312. E :	on voit que c'est quelque chose en fait de plus général qu'on retrouve dans la notion d'énergie (...)

Ce qui est significatif dans cet échange, c'est la prégnance de la référence à la matière : le principe de conservation de l'énergie se pense à partir de celui de la masse pour les élèves. Toutefois si le principe de conservation de l'énergie généralise celui de la masse, c'est qu'il s'applique à beaucoup d'autres phénomènes, et non seulement aux réactions chimiques.

L'enseignant utilise ainsi la référence à la matière, parce que l'idée de conservation est à la fois concevable d'un point de vue réaliste (la masse est concrète) et d'un point de vue empiriste (la conservation de la masse est mesurable par une balance). Cette utilisation de la conservation de la masse était prévue par l'enseignant [Ante 123] :

123. E :	(...) c'est une grandeur qui va se transformer qui est ni créée ni détruite mais qui se transforme un peu comme <i>c'est un peu pour faire référence là à la phrase de Lavoisier</i> rien ne se perd rien ne se crée tout se transforme <i>qu'ils ont déjà vu</i> en chimie mais qui est quelque chose de plus général au niveau de la conservation
----------	---

Cette perspective empiriste et réaliste sert alors à institutionnaliser le langage de la physique. C'est un point de vue épistémologique *rationaliste*¹⁰⁸ qui est développé ici, par le renvoi à des termes non définis qui inscrivent l'énergie dans un réseau conceptuel qui l'englobe : l'énergie

¹⁰⁸ Pour G. Bachelard (1940), à propos du rationalisme de la masse, le rationalisme est « le temps de la *solidarité notionnelle*. A l'usage simple et absolu d'une notion fait suite l'usage corrélatif des notions. La notion de masse se définit dans un *corps de notions* et non plus seulement comme un élément primitif d'une expérience immédiate et directe ». (*La philosophie du non*, p.27)

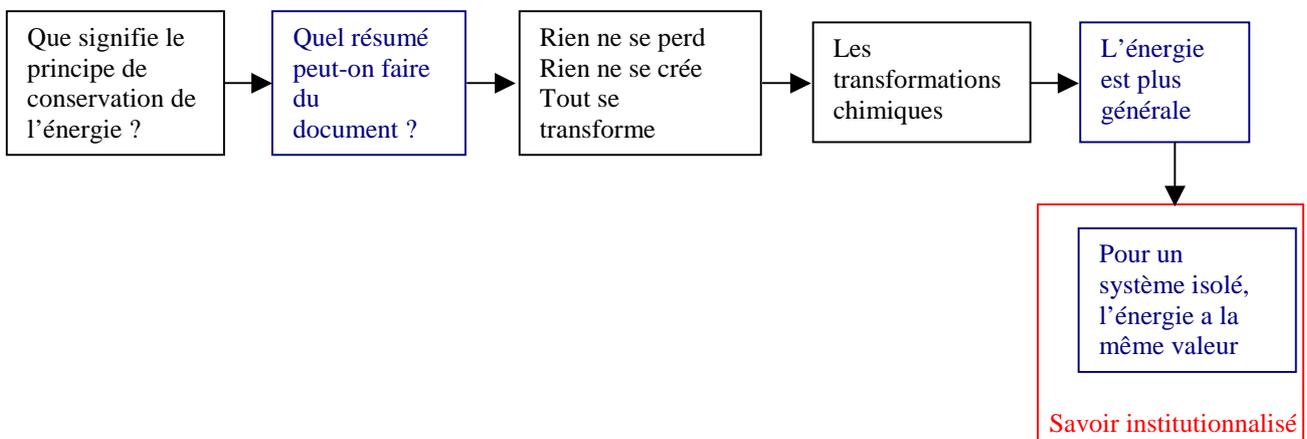
est alors associée à un « système qu'on appelle isolé c'est-à-dire sans interaction avec l'extérieur », on parle également d'« énergie totale » et cette énergie « a une valeur » [T 312] :

312. E : (...) on peut pas donc créer l'énergie on peut pas la détruire mais on peut la transformer et donc pour un système *qu'on appelle isolé* c'est-à-dire un système sans interaction avec l'extérieur donc *l'énergie totale* elle va être conservée. C'est ça la conservation de l'énergie donc ça veut dire qu'on aura toujours *la même valeur totale* mais que l'énergie elle peut se transformer mais on aura toujours la même valeur totale pour un système sans interaction avec l'extérieur.

On indexe une valeur à ce quelque chose, en l'inscrivant dans un réseau conceptuel, qui permet de donner les conditions de sa mesure.

On peut donc interpréter ce qui se passe dans ce jeu : c'est le passage d'une épistémologie réaliste et empiriste à une épistémologie de type rationaliste. Toutefois, ce passage est effectué de manière implicite. On peut donc considérer cet implicite comme une stratégie de l'enseignant (par forcément consciente dans ses modalités mais consciente dans son intention) pour progressivement construire l'abstraction du concept.

Nous synthétisons ci-dessous la mésogénèse de ce jeu :



On remarque que l'enseignant introduit ici le concept d'énergie d'une manière qui n'est pas celle prescrite par le programme de 1^{ère} S. En effet, le programme stipule que l'énergie est définie par le travail d'une force et le principe de conservation est alors une généralisation du principe de conservation de l'énergie mécanique. Ici, l'enseignant ne prend pas un point de vue mécaniste et postule dès le départ de l'étude sur l'énergie le principe de conservation.

Il justifie dans l'entretien ante cette manière de faire [Ante 129-135] :

129. E : parce que je pense que ça permet aux élèves d'appréhender une notion si on fait pas ça on arrive de suite à la notion de travail donc qui est quelque chose de pas si simple et donc avec des relations un peu complexes un peu mathématiques un produit scalaire etc. donc oui ça c'est en joule

130. NH : et ça te gêne de définir l'énergie par le travail parce que c'est un peu ça le programme de 1^{ère} S

131. E : c'est pas vraiment que ça me gêne mais pour moi par rapport au public je trouve que c'est un peu brut de décoffrage d'un coup d'annoncer par le travail je trouvais que c'était un moyen plus sympathique et en même temps qui va nous aider parce qu'on introduit une notion qu'on reverra juste après travail énergie cinétique énergie potentielle de pesanteur et ça permettra peut-être que ça passe plus en douceur ouais de manière différente de coup mais c'est aussi la manière avec la réforme ça va être plus abordée dans ce sens là aussi

132. NH : oui parce que tu as regardé le nouveau référentiel

133. E : oui pour voir la notion de travail est quasi éliminée au profit de l'introduction par l'énergie potentielle l'énergie cinétique et par les formes les sources il y a quelque chose de plus concret

134. NH : donc là tu te projettes déjà en fait

135. E : oui plus sur le prochain programme en essayant de faire un mix pour ne pas sortir complètement du programme qu'il y a

L'enseignant utilise 2 arguments pour justifier son choix.

Premièrement, il justifie cette manière de faire en référence aux élèves : ça leur permet « d'appréhender une notion » [T 129], que « ça se passe plus en douceur », alors qu'introduire l'énergie par le travail « c'est un peu brut de décoffrage » [T 131], « avec des relations un peu complexes un peu mathématiques » [T 129]. Ces précautions que l'enseignant prend afin d'opérer le changement de langage est en lien avec la dévolution : la manière dont il justifie son action vise en effet à réduire le travail cognitif des élèves.

Deuxièmement, il se projette sur le prochain programme de 1^{ère} S et essaye de « faire un mix » [T 135] entre l'actuel programme et l'ancien. Il justifie donc son action en référence à l'esprit de la réforme : « c'est aussi la manière avec la réforme ça va être plus abordée dans ce sens là aussi » [T 131].

La construction d'ordre syntaxique introduit ici aussi des écarts de type sémantique : en effet, l'enseignant réduit le niveau d'abstraction du concept en le ramenant à celui de masse puis introduit à nouveau une distance en l'intégrant à un réseau conceptuel plus vaste. Il y a par conséquent un travail implicite de construction d'une nouvelle sémantique à travers ce réseau conceptuel.

11.3.2.3 La chaîne énergétique : un modèle implicite

Après avoir défini un catalogue de formes d'énergies (thème 6), l'enseignant propose un modèle « implicite » de chaîne énergétique. C'est l'objet des jeux d'apprentissage du thème n°7.

L'enseignant commence par définir le premier jeu du thème [T 955] :

955. E :	(...) (1 :25 :53) donc on va passer à une partie donc on a vu que l'énergie se transformait d'une forme à une autre donc on va voir comment on peut <i>symboliser</i> ces transformations <i>de manière schématique pour pas avoir à faire des phrases</i> etc. et <i>pour qu'on voit d'un seul coup d'œil</i> de quoi il s'agit d'accord donc c'est la partie 5 donc les transformations donc les transformations de l'énergie (...) donc <i>on va utiliser pour que ce soit plus simple à visualiser des symboles à chaque forme d'énergie d'accord donc on va symboliser chaque forme d'énergie par un symbole qui a été choisi parce que c'est assez visuel donc</i>
----------	--

Il s'agit donc de *symboliser* les formes d'énergie pour *schématiser* les transformations d'énergie. L'intention de l'enseignant est alors de simplifier l'étude des transformations énergétiques pour économiser le travail cognitif [T 955] : « ne pas avoir à faire de longues phrases », « voir d'un seul coup d'œil de quoi il s'agit ». On retrouve ici aussi la volonté de dévoluer ce qui se passe en classe : les symboles ont vocation à modéliser les énoncés grammaticaux précédemment introduits pour en simplifier l'usage.

La suite du jeu est l'association d'un symbole à chaque forme d'énergie. A la fin du jeu, un élève pose la question de la normalisation des symboles dessinés [T 1010-1013] :

1010. Corentin :	c'est des signes international ?
1011. E :	non très bonne question Corentin demande si c'est des signes internationaux non c'est des signes qu'on a pris arbitrairement on aurait pu choisir d'autres mais qui fonctionnent parce que voila chaque symbole renvoie à l'énergie correspondante mais on aurait pu trouver d'autres symboles bien sûr
1012. Laura :	mais en fait ça sert à quoi les signes là
1013. E :	alors oui très bonne question Laura ça va servir à tout ce qu'on a vu telle énergie se transforme en telle énergie on va le représenter de manière schématique pour que ce soit plus simple et ça nous évite de faire à chaque fois un paquet de phrases énormes d'accord on va symboliser par des transformations c'est bon pour tout le monde donc est-ce que ça va pour les symboles oui

L'enseignant explicite donc le statut de ces représentations : elles sont utiles, elles schématisent des transformations, elles ne sont pas normalisées. C'est donc un épisode de dévolution qui a lieu ici : dévolution de la tâche en cours (noter les symboles) et des tâches à venir (utiliser les symboles sur un exemple).

Toutefois, on peut également exprimer le fait qu'il y a de l'implicite dans cette approche de la chaîne énergétique : elle est fondée sur le concept d'énergie, donc elle *adhère* au réseau théorique qui le sous-tend en en proposant une représentation imagée ; les symboles sont de plus normalisés, non pas à l'échelle de la communauté formée des scientifiques comme l'explicite l'enseignant mais à l'échelle de la classe. Finalement, c'est donc un modèle de la chaîne énergétique qui est explicitée par l'enseignant et c'est le statut épistémologique de ce modèle qui est alors implicite.

L'adhérence au concept d'énergie est visible par la symétrie adoptée entre les formes d'énergie et ce modèle de la chaîne énergétique : le thème n°6 a consisté en un catalogue de formes d'énergie, ici c'est un catalogue de symboles qui est proposé.

Le deuxième jeu consiste à appliquer ces symboles à l'exemple de l'éolienne : on a lors production d'énoncés empiriques, qui ont pour fonction d'établir des énoncés grammaticaux qui généralisent l'exemple pris. L'enseignant introduit alors l'idée de la « complétude » de la chaîne [T 1045] :

1045. E :	donc le mouvement voila de l'alternateur qui permet de passer sous une autre forme d'énergie qui est l'énergie électrique <i>est-ce que la chaîne énergétique ici est complète pour vous ? (1:35:35)</i>
1046. Corentin :	non parce que XXXXXXXXX
1047. Romain :	parce qu'elle est pas fermée
1048. Guillaume :	il y a des pertes
1049. Corentin :	après elle va être diffusée
1050. E :	alors Guillaume il y a des pertes alors c'est-à-dire à quel niveau il y a des pertes ?
1051. Guillaume :	partout
1052. Camille :	chaleur
1053. E :	partout oui et c'est des pertes
1054. Romain :	bah avec la chaleur
1055. E :	c'est des pertes de quel type ?
1056. Romain :	bah énergie thermique
1057. Guillaume :	bah ça dépend
1058. E :	oui bah est-ce que vous avez des exemples comme ça à donner de pertes oui
1059. Adrien :	de chaleur
1060. E :	de chaleur énergie thermique à quel niveau par exemple elle perd
1061. Romain :	sur l'alternateur
1062. E :	oui Romain très bien au niveau de l'alternateur si après vous allez mettre votre main dessus comme des résistances ça
1063. Romain :	c'est bouillant ça chauffe
1064. E :	chauffe c'est-à-dire qu'il y a des entre guillemets des pertes de
1065. Collectif :	chaleur
1066. E :	de chaleur c'est-à-dire des pertes thermiques donc au niveau du convertisseur on va mettre une flèche qui est de l'énergie

Plusieurs élèves sortent en effet du modèle en exprimant l'idée de « pertes » [T 1048] et de « chaleur » [1054 ; 1059 ; 1065]. C'est l'enseignant qui *traduit* à chaque fois dans le modèle qu'il a défini ce que les élèves expriment. C'est ce que montre par exemple l'échange précédent, dans lequel l'enseignant reformule le mot « chaleur » employé par les élèves en « énergie thermique » [T 1058-1066] :

L'enseignant utilise donc les interventions des élèves pour construire le modèle, les règles de fonctionnement sont implicites (par exemple qu'il faut toujours parler d'*énergie* thermique, cinétique, etc.). De plus, l'enseignant encourage le recours à l'expérience des sens pour fonder le modèle : « si vous allez mettre la main dessus » [T 1062], « c'est bouillant, ça chauffe » [T

1063]. Le statut épistémologique du modèle est alors fortement empiriste car ce sont les sens qui sont mobilisés plutôt que le réseau conceptuel dans lequel s'inscrit ce travail.

De plus, l'enseignant généralise l'exemple de l'éolienne à n'importe quelle transformation dans la phase d'institutionnalisation :

1080. E :	(1 :37 :03) donc ça c'est un exemple on peut le généraliser donc vous pouvez marquer on peut généraliser ce type de chaîne énergétique donc on peut généraliser ce type de chaîne énergétique donc avec le même schéma de base donc à part que ce sont les formes d'énergie qui vont pouvoir changer (...)
-----------	--

Cette référence au cas particulier peut être interprétée comme une manière inductiviste de considérer le travail de modélisation : il y a alors passage d'énoncés empiriques à des énoncés grammaticaux.

La chaîne énergétique permet en outre d'introduire la notion de rendement : c'est l'objet des troisième (définition du rendement) et du quatrième jeu (unité du rendement). Le travail qui s'instaure alors sur l'unité du rendement (à partir de [T 1129] débouche ensuite (à partir de [1142] sur la nécessité qu'un rendement soit inférieur à 1. La discussion qui s'engage montre alors une nouvelle fois que le modèle construit est empiriste car seule l'intuition de certains élèves est mobilisée :

1142. E :	rien du tout donc il y a une dimension égale à 1 d'accord donc là on est à un rendement mais par contre qu'est-ce qu'il y a à noter d'important le rendement c'est toujours inférieur à quoi ?
1143. Mélissa :	0
1144. Joël :	à 1
1145. E :	à 0 non à ?
1146. Collectif :	à 1
1147. E :	à 1 tout le monde est d'accord parce que l'énergie utile va toujours être inférieur à l'énergie reçue donc le rapport va être toujours inférieur
1148. Corentin :	1
1149. E :	1 (1 :41 :40) donc le rendement donc ce qu'il faut noter c'est que c'est toujours une grandeur sans unités c'est bon inférieure à
1150. Corentin :	1

Autrement dit, ce qui justifie le fait qu'un rendement soit inférieur à 1, c'est déjà que le « 1 » soit une limite : c'est donc le principe de conservation qui sous-tend la rationalité de ce modèle et ici le principe de conservation de l'énergie est implicite.

11.3.2.4 Conclusions

Les savoirs de la physique sont ici liés à la construction du concept d'énergie, qui va de sa définition jusqu'à son intégration dans un réseau conceptuel qui l'englobe.

Dans la description que nous avons faite de la pratique de l'enseignant A dans cette séance, trois éléments nous semblent significatifs sur les savoirs scientifiques enseignés sous forme d'énoncés grammaticaux.

- Tout d'abord, ces savoirs mobilisent des mots qui appartiennent simultanément à plusieurs registres : nous avons en effet vu que les mots « lumière », « chaleur », « force » interviennent à plusieurs reprises lors de la séance et ils appartiennent aussi bien au langage courant qu'au langage scientifique. Le concept d'énergie est également commun à plusieurs registres et la construction du concept pose alors la question de l'apprentissage / enseignement de l'usage scientifique de ce mot. Il y a donc enseignement / apprentissage d'un *lexique* particulier dans cette séance, qui impose à l'enseignant de construire une distance entre langage courant et langage scientifique.

- Nous avons également vu que dans cette séance l'action conjointe peut être décrite suivant différentes perspectives épistémologiques : réalisme, empirisme, inductivisme, rationalisme. Un large spectre épistémologique est donc mobilisé dans l'action par l'enseignant suivant les moments et les savoirs enseignés : réaliste et empiriste lors de la définition de l'énergie, le concept gagne progressivement en rationalité lors de l'étude des formes d'énergie ; l'introduction du modèle de la chaîne énergétique développe plutôt un point de vue empiriste et inductif. Cette variété pose par conséquent la question de sa fonction. On peut dans une première approche interpréter ces différentes perspectives épistémologiques comme des moyens que l'enseignant A se donne pour simplifier la présentation des savoirs à enseigner et en ce sens l'utilisation de ces perspectives épistémologiques sont des techniques de dévolution. Pour rendre accessible un savoir, il s'autorise des simplifications qui sont autant de marches vers le savoir à enseigner. Ce n'est pas lié à la transposition de ces savoirs car leur expression ou formulation ne change pas, c'est lié au chemin pour y arriver et cela dépend de la situation didactique. Ces petits arrangements épistémologiques ne sont pas nécessairement prédéfinis, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas liés à une épistémologie particulière, c'est dans la situation qu'ils se forment. Si l'action est située, le savoir en tant que acteur du triangle didactique joue un rôle dans la situation, autrement dit ce sont moins les conceptions des acteurs qui entrent en jeu que leurs « conceptions pratiques », complexe de conceptions modulées par l'action. C'est une sorte de principe de moindre coût cognitif : l'action de l'enseignant vise à minimiser le coût cognitif de son enseignement et de l'apprentissage des élèves : il adapte alors implicitement le registre épistémologique à son intention. C'est la gestion par l'enseignant de la situation (dans tous ces débordements, fatigue des élèves, chronogénèse prévue par l'enseignant) qui fixe le registre épistémologique implicite qu'il va utiliser. Ces registres épistémologiques agissent comme une *syntaxe*, puisqu'ils agissent sur la combinaison des mots utilisés pour aborder l'énergie.
- Le mot « énergie » ne porte pas en lui-même la signification des phénomènes qu'il permet de décrire : son usage est issu de l'accord d'une communauté qui a défini cet usage en connexion avec d'autres mots qui appartiennent à la même théorie. Les mots de la science s'expriment parfois avec des mots issus du langage courant mais, du fait de leur appartenance à un réseau théorique, leur signification est différente de celle qu'ils ont dans le langage usuel. Autrement dit, au fur et à mesure que l'énergie gagne en rationalité dans cette séance, sa signification change simultanément que la signification des autres concepts du réseau conceptuel auquel il est lié change aussi. Autrement dit, l'enseignement de l'énergie est aussi une question de *sémantique* concernant le réseau conceptuel auquel il appartient.

Ces trois éléments (lexique, syntaxe, sémantique) nous font interpréter la pratique de l'enseignant A comme une pratique d'enseignement d'un *langage*, qui serait le langage scientifique scolaire, lié à l'énergie d'un point de vue des sciences physiques. Pour reprendre la distinction que Wittgenstein fait entre les énoncés empiriques et grammaticaux, c'est ici un enseignement d'énoncés grammaticaux qui est visé, dans le sens où les éléments de langage servent à représenter et à décrire les phénomènes.

Ce langage reflète « une vision du monde » [Ante 20] que l'enseignant apporte en enseignant la physique. C'est ce qu'il développe dans l'entretien Ante [Ante 19-24] :

19. NH :	Après sur ton métier qu'est-ce tu penses apporter aux élèves pourquoi tu fais ce métier un peu ?
20. E :	d'accord bah déjà je pense essayer de leur apporter déjà <i>une vision du monde</i> au niveau de la physique c'est <i>expliquer</i> c'est essayer d' <i>expliquer</i> les phénomènes naturels qui nous entourent essayer qu'ils aient une compréhension du monde enfin voilà comment

on peut *expliquer* des phénomènes avec la physique ou la chimie donc voilà des phénomènes concrets et comment ils peuvent faire le parallèle avec ce qu'on voit

(...)

23. NH :

et pourquoi t'as choisi la physique enseigner la physique pourquoi la physique ?

24. E :

bonne question parce qu'en fait donc c'est donc une matière qui m'a intéressé depuis longtemps parce que déjà c'est concret on peut des expériences voilà c'est concret et donc c'est intéressant de ce point de vue là parce que justement ça *explique* le monde qui nous entoure la physique c'est vraiment la nature comment voir les phénomènes et donc ouais donc c'est essentiellement pour ça que ça m'intéressait quoi c'est vraiment une matière qui me semblait apporter tout ça donc en même temps une certaine rigueur et en même temps voilà l'*explication* des phénomènes naturels

Cette « vision du monde » est liée à une « explication des phénomènes naturels ». L'enseignant A utilise en effet à plusieurs reprises le verbe « expliquer » pour justifier l'intérêt de l'enseignement de la physique.

Autrement dit, si expliquer est étymologiquement l'action de déplier, de faire comprendre ce qui est obscur en le développant, l'échange [Ante 23-24] exprime une perspective de la physique selon laquelle elle déplie la nature, elle développe la nature pour rendre compréhensible son obscurité, c'est-à-dire son mystère. Cette conception de la physique est indépendante de tout sujet et de toute institution, la physique est donc exprimée dans ce cas comme un objet, sans relation avec celui qui l'étudie.

L'échange [Ante 19-20] porte davantage sur le rapport entre l'homme et la physique, elle est alors conçue comme un outil : « on peut expliquer des phénomènes avec la physique ».

On peut donc interpréter ces paroles comme l'expression d'une nature de la physique qui est un outil indépendant de celui qui l'utilise et dont la fonction est de rendre compréhensible les phénomènes qui nous entourent.

11.3.3 Les énoncés empiriques : une visée éducative

Nous distinguons dans cette séance A₁ trois contextes d'usage des énoncés empiriques. Le premier concerne la production d'énoncés empiriques en manipulant les énoncés grammaticaux vus auparavant (11.3.3.1). Le deuxième contexte concerne des énoncés empiriques qui ont un usage dans la vie quotidienne (11.3.3.2). Enfin, nous nous intéressons également à des énoncés empiriques qui engagent l'enseignant dans le sens où l'enseignant leur attribue un sens éducatif (11.3.3.3).

11.3.3.1 Manipuler les énoncés grammaticaux vus auparavant pour produire des énoncés empiriques

Nous décrivons ici l'application du principe de conservation de l'énergie que propose l'enseignant aux élèves. Il s'agit du jeu n°2 du thème 3 : il fait suite à l'institutionnalisation du principe de conservation de l'énergie.

L'enseignant définit le jeu [T 314-318], il s'agit pour les élèves d'utiliser le principe sur un « exemple concret », une personne A qui pousse un caddie B :

314. E :

(...) (29:28) donc on va prendre un exemple donc un exemple on va prendre un *exemple concret* donc vous pouvez noter (...)

(...)

318. E :

(...) donc si on considère A qui est à un certain niveau qu'est-ce qui va lui qu'est-ce qui va se passer par rapport à ce système donc A c'est la personne qui pousse le chariot donc s'il pousse le chariot qu'est-ce qu'il va faire est-ce qu'il va gagner de

Même si l'enseignant déclare que c'est « un exemple concret » [T 314], il est pourtant *représenté* de manière abstraite et symbolique (la personne A pousse un caddie B, le système isolé est A+B), en ce sens le travail va consister en la production d'un énoncé empirique (« l'exemple concret »), en utilisant des énoncés grammaticaux (la représentation symbolique et le principe de conservation de l'énergie).

L'enseignant justifie cette manière de faire dans l'entretien post [Post 52-57] :

52. E : *parce que dans les problèmes dans les systèmes souvent on met des lettres dans les exercices qu'on voit et donc et puis c'était si on dit soit un système A qui interagit avec un système B blabla je l'ai déjà entendu enfin vécu entre guillemets et c'est vrai que c'est plus rébarbatif donc j'ai essayé de personnaliser ça avec un petit exemple mais je sais pas si l'exemple était très enfin c'est pas*

L'usage du principe, que l'enseignant propose aux élèves, est ainsi fortement formalisé de la façon dont les problèmes et exercices de physique sont présentés. On note donc par là l'importance que l'enseignant attache à l'écriture symbolique propre aux exercices qui sont proposés dans les manuels ou examens aux élèves, afin d'acculturer les élèves aux problèmes scolaires à résoudre.

Les élèves jouent ensuite au jeu proposé :

319. Lorraine : il va perdre de
 320. Coentin : il va en perdre
 321. E : il va en perdre exactement donc donc du coup le système A va perdre de l'énergie c'est bon pour tout le monde qu'est-ce qui va se passer au niveau du système B
 322. Collectif : il va en gagner
 323. E : il va en gagner et il va en gagner combien
 324. Romain : bah autant que l'autre en perd
 325. E : autant que exactement que
 326. Collectif : que A
 327. E : que A pourquoi autant que A
 328. Romain : parce que tout ce que A perd ça va dans B
 329. E : Très bien mais *en vertu de quoi*
 330. Lorraine : bah parce que c'est lui qui pousse
 331. Coentin : bah transfert d'énergie
 332. Romain : Bah parce que c'est lui qui le pousse
 333. E : voila exactement bah *c'est exactement l'illustration de ce qu'on vient de dire c'est le principe de conservation c'est bon (33 :01)*

La forme de la communication est interactive, de type I-R-P, et authoritative car c'est l'enseignant qui insiste pour que les élèves disent que « c'est en vertu » du principe [T 329].

Les élèves ont plutôt ici un penchant empiriste (les vases communicants), fondé sur la simplicité et l'intuitif : « bah autant que l'autre en perd » [T 324], « parce que tout ce que perd A ça va dans B » [T 328]. L'enseignant cherche davantage à leur faire déduire le raisonnement du principe de conservation de l'énergie. En effet, vertu vient du latin *vir* la force, « en vertu de » c'est donc la force de produire un effet. Ici c'est la force du principe de conservation de l'énergie de produire une rationalisation d'un phénomène. L'exercice est par conséquent conçu pour que les élèves utilisent un principe qui guide leur pensée mais eux jouent davantage au jeu du langage courant, c'est-à-dire la confiance en la réalité de la compréhension des phénomènes. Le principe de conservation est donc conçu ici par l'enseignant comme un outil heuristique chargé de représenter une situation physique.

Les applications de la formule sur l'énergie cinétique (jeu n°2 du thème 6) et sur la calorie (jeu n°4 du thème 4) mettent aussi l'accent sur l'entraînement des élèves au calcul. On retrouve là également une forme classique des exercices et examens de physique. Dans cette optique, on peut ainsi expliquer que les phases de travail individuel mettent en jeu la compétence mathématique.

11.3.3.2 Des énoncés empiriques pour la vie quotidienne

Les jeux 3 (définir la calorie) et 5 (définir le kilowattheure) du thème n°4 (les unités de l'énergie) ont pour objet les définitions particulières de certaines unités d'énergie. Nous décrivons un moment dans chaque jeu où l'usage de ces unités est abordé.

Dans le jeu n°3, l'enseignant institutionnalise la calorie [T 387-391] :

387. E :	le voila donc la kilocalorie d'accord donc kilocalorie donc calorie et donc kilocalorie donc ces unités cette unité enfin ces unités les deux calorie kilocalorie <i>on peut les utiliser dans quoi justement</i>
388. Coirentin :	<i>nutrition</i>
389. E :	donc oui dans tout ce qui est Coirentin
390. Coirentin :	<i>nutritionnel</i> tout ce qui est
391. E :	les valeurs oui nutritionnelles tout à fait donc <i>les valeurs nutritionnelles</i> donc vous pouvez marquer donc ces unités donc ces unités sont utilisées pour donc ces unités sont utilisées donc ces unités sont utilisées par exemple donc en <i>diététique</i>

Dans cet extrait, l'enseignant et un élève réfère l'usage de la calorie et de la kilocalorie dans la nutrition.

De la même façon, l'enseignant institutionnalise le kilowattheure en référence à son usage, celui de la facture de consommation électrique [T 432-436] :

432. E :	(...) donc le kilowattheure donc qu'on utilise dans quoi donc dans quoi vous avez entendu parler du kilowattheure euh oui
433. Coirentin :	<i>les relevés de</i>
434. E :	oui très bien les relevés de
435. Coirentin :	<i>d'électricité dans les maisons</i>
436. E :	d'électricité voila exactement <i>dans les relevés par exemple EDF l'énergie consommée</i> l'énergie électrique elle est en kilo
437. Coirentin :	wattheure

L'enseignant justifie ses choix lors de l'entretien ante [Ante 63-70] :

63. NH :	et donc ce travail sur les unités il te semblait important pour quoi en fait
64. E :	(...) mais en fait <i>sur une bouteille ils peuvent lire kilocalorie donc sur leur facture ils peuvent voir kilowattheure et donc c'était quand même de l'énergie</i> et suivant les moments on utilisait différentes unités
65. NH :	et donc pour les élèves le fait d'aborder ça c'est un moyen de pouvoir lier ce qui se passe en cours de physique et
66. E :	<i>et ce qu'ils peuvent voir aussi chez eux</i>
67. NH :	et en quoi ça te semble important par rapport à toi ton rôle
68. E :	<i>justement un peu d'éducation bah du fait que oui nous on va utiliser quasi exclusivement jusqu'en terminale que du joule mais s'ils s'interrogent maintenant ils sauront enfin s'ils voient une bouteille ça correspond s'ils le savaient pas aussi à une énergie et que il y a bien un lien avec l'énergie qu'ils voient au lycée c'est pour faire la parallèle en fait</i>
69. NH :	d'accord donc l'énergie elle est pas réservée au laboratoire de physique
70. E :	voila elle est pas que enfin c'est pas qu'une notion de physicien pour la physique c'est aussi ouvert

L'enseignant justifie d'aborder ces unités par l'usage dans la vie quotidienne que peuvent en faire les élèves : « ce qu'ils peuvent voir aussi chez eux » [T 66].

La physique est donc conçue comme un ensemble de connaissances qui peut aussi servir et il exprime son rôle « éducatif » en créant des liens entre la vie quotidienne des élèves et le cours de physique : « ils sauront enfin s'ils voient une bouteille ça correspond s'ils le savaient pas aussi à une énergie et que il y a bien un lien avec l'énergie qu'ils voient au lycée c'est pour faire la parallèle en fait » [Ante 68].

11.3.3.3 Des énoncés empiriques pour responsabiliser les élèves

11.3.3.3.1 Une responsabilisation à l'écologie

L'exemple de l'éolienne revient à deux endroits dans la séance. Tout d'abord dans le jeu n°3 du thème 5, pour opérationnaliser la distinction entre les sources et les formes d'énergie, et dans le jeu n°2 du thème n°7, pour appliquer la chaîne énergétique sur un exemple.

Nous avons déjà étudié lors des parties 3.2.1.3 la production d'énoncés empiriques lorsque l'exemple de l'éolienne est utilisé pour construire des énoncés grammaticaux de la chaîne énergétique. Toutefois, nous justifions dans cette partie l'intérêt qu'a l'enseignant d'utiliser cet exemple « propédeutique ».

Premièrement, l'enseignant exprime dans l'entretien ante sa conception de la physique en tant qu'outil pour agir [Ante 66] :

66. E :	bah oui <i>ça a un rôle éducatif</i> dans le sens où la physique intervient dans des phénomènes importants et qui sont d'autant plus importants avec les problèmes par exemple de changement climatique ce sont des phénomènes physiques qui sont à la base de ça et donc qui sont on a sans doute enfin la physique a un rôle à jouer dans ces phénomènes dans les phénomènes quand on parle de pollution d'effet de serre etc. c'est de la physique à la base et c'est vrai que du coup c'est pas que des connaissances c'est comment <i>en sachant ça aussi on peut</i> trouver des solutions à ces problèmes là aussi
---------	---

Le rôle de l'enseignant est alors de rendre l'outil maniable à l'élève : il y a deux éléments dans l'outil qu'est la physique : d'un côté il y a sa nature, un ensemble de connaissances que les élèves doivent connaître, et de l'autre il y a la manière de se servir de ces connaissances pour agir : « en sachant ça aussi on peut ».

On peut donc interpréter le fait que l'exemple de l'éolienne suit un exposé authoritative des connaissances institutionnelles : il faut d'abord savoir avant d'imaginer un moyen d'action.

De plus, le choix de l'exemple propédeutique de l'éolienne peut être inféré par la volonté de responsabiliser les élèves à l'écologie. Cette responsabilisation à l'écologie est abordée dans les entretiens [Ante 67-68] :

37. NH :	est-ce que t'as des exemples à me donner ?
38. E :	par exemple en TP <i>ça peut être dans la responsabilisation par rapport à l'environnement</i> de la toxicité des produits de responsabiliser donc les élèves à ce niveau là faire des choses comme ça
(...)	
67. NH :	et quand tu parlais au début de vision du monde un peu t'as parlé de ça justement est-ce qu'il y a pas un truc par rapport à l'éducation aussi
68. E :	<i>de responsabiliser les élèves, ça peut être ça aussi au niveau écologique ça peut rentrer dedans</i> oui

De même, l'enseignant déclare dans l'entretien post [Post 87-88] que parler d'écologie aux élèves, « c'est important pour moi » :

87. NH :	et dans le reste de l'année tu vois d'autres moments où il y a
88. E :	oui bah si <i>quand on parle d'écologie</i> de temps en temps c'est un sujet j'essaie <i>c'est très important</i> quoi

11.3.3.3.2 Une responsabilisation sur les différences socio-économiques entre pays

L'enseignant aborde l'unité tonne équivalent pétrole (TEP) lors du jeu n°6 du thème n°4 (les unités de l'énergie). Après avoir défini la TEP, il demande aux élèves la consommation par habitant de plusieurs zones géographiques :

446. E :	(...) (45 :57) alors pour vous donner un ordre d'idées donc pourquoi on utilise ça parce que ça va être plus pratique à utiliser donc par exemple un habitant américain des états unis consomme en moyenne 8 tep par an d'accord donc 8 T E P par an alors qu'un habitant par exemple d'Afrique subsaharienne il va en consommer combien à votre avis
447. Romain :	zéro
448. élève fille ? :	une
449. E :	même pas une zéro virgule cinq en moyenne donc par exemple un américain qui consomme
(...)	
457. Camille :	par an ?
458. E :	par an ouais donc 8 tep par an et en donc pour donner donc un africain consomme en moyenne 0.5 tep ça veut dire qu'en consommation d'énergie un américain va consommer combien de fois plus
459. Joël :	16
460. E :	16 fois plus donc voyez c'est quand même énorme donc au niveau de la répartition énergétique mondiale et de la consommation
461. Laura :	et un français ?
462. E :	donc et un français voila en moyenne donc un européen c'est environ 4 d'accord par an c'est bon pour tout le monde

Cet exemple est pris afin « de donner un ordre d'idées » aux élèves, en comparant les deux extrêmes de l'échelle : la consommation des Etats Unis et de l'Afrique subsaharienne. L'enseignant justifie dans l'entretien post l'exemple choisi [Post 76-82] :

72. E :	parce que j'avais pris les extrêmes parce que je me suis dit les américains c'est énorme déjà ce qu'ils consomment puis un africain subsaharien il consomme pratiquement rien ça m'avait tellement quand j'avais lu les articles <i>ça m'avait tellement choqué</i> qu'en fait j'avais la référence française enfin européenne à peu près moyenne et du coup je l'ai zappé
73. NH :	et toi ce que tu voulais c'est montré les extrêmes pour montrer quoi alors
74. E :	bah pour montrer que justement c'est un problème mondial enfin le problème de l'énergie, des ressources, de la consommation mais que on est déjà pas tous consommateurs et pas tous impliqués de la même façon dans l'origine de la consommation enfin
75. NH :	et du coup j'essaie de creuser un petit peu quelle est ton intention en fait quand tu leur montres ça, tu leur montres okay qu'il y a des différences dans le monde mais
76. E :	après ça aurait été de montrer qu'aussi des responsabilités <i>on est peut-être pas tous aussi responsables à part égal</i> et que bah critiquer la Chine et l'Inde qui sont en voie de super développement rapide en ce moment et dire oui vous pouvez pas parce que vous allez polluer c'est un peu facile du coup enfin pointer ça
77. NH :	oui parce que c'est vrai que c'est différent de mettre africain : 8 africain 0,5 que de mettre français 4 tout seul tu vois donc ça veut dire qu'il y a une intention derrière
78. E :	oui c'était pour montrer 16 fois plus c'est quand même
79. NH :	et là ton rôle encore qu'est-ce que
80. E :	<i>là c'est plus vraiment prof de physique entre guillemets ouais c'est plus essayer comment c'est plus éducatif ouais au niveau de la citoyenneté des élèves</i>
81. NH :	et ça ça te semble important justement de pointer ces choses là d'amener ça en classe
82. E :	<i>bah oui je dirai ça fait partie du métier aussi de notre responsabilité d'adulte entre guillemets quoi peut-être sans doute ouais</i>

L'enseignant attribue par conséquent une signification particulière à son rôle social : il a des responsabilités en terme d'éducation vis à vis de ces élèves.

Ainsi, à travers les thèmes qu'il aborde, une autre ambition éducative se dessine : « ça fait partie du métier » [Post 82], bien que « c'est plus vraiment le prof de physique » [Post 80],

c'est alors la « responsabilité d'adultes » [Post 82] qui entre en jeu et cet enseignement est « plus éducatif » [Post 80]. C'est dans cet exemple le sentiment « d'avoir été choqué » que l'enseignant cherche à faire partager [Post 72].

11.3.3.3 Une responsabilisation sur la sécurité routière

Le jeu n°3 du thème n°6 (la classification des formes d'énergie) est une application de la formule de l'énergie cinétique. Il s'agit alors pour les élèves d'évaluer l'équivalence entre la vitesse d'une voiture et la hauteur de chute d'un homme d'un immeuble.

Nous avons extrait un passage de ce jeu [T 739-767] :

739. Romain :	si la vitesse d'une voiture est multipliée par 2 alors son énergie cinétique est multipliée par 4
740. E :	d'accord alors pourquoi ça a une incidence en sécurité routière ça ?
741. Romain :	bah plus on roule vite plus si on a un impact le choc il sera plus fort
742. E :	d'accord et il sera d'autant plus <i>violent</i> qu'on voit que si on multiplie par 2 l'impact par l'énergie sera multiplié par ?
743. Romain :	4
744. E :	par 4 <i>ce qui est énorme donc pour voir cette violence</i> justement on va répondre à la question 6 merci Romain donc tout le monde a noté si la vitesse d'une voiture est multipliée par 2 alors son énergie cinétique est
(...)	
753. E :	donc voilà vous avez l'équivalence hauteur de chute et vitesse en kilomètres par heure donc pour une vitesse de 150 si vous regardez sur le graphique de 150 kilomètres par heure ça nous donne
754. Corentin :	100 mètres à peu près
755. E :	une hauteur de combien à peu près
756. Lorraine :	90
757. E :	oui entre 80 et 100 donc on va évaluer à 80
758. Collectif :	10
759. E :	10 90 mètres sachant qu'un étage en moyenne fait
760. Elodie :	3 mètres
761. E :	3 mètres ça fait combien d'étages
762. Guillaume :	30
763. E :	30 étages donc 30 étages autant vous dire que
764. Corentin :	on est mort
765. E :	oui voilà euh <i>donc enfin ça vous donne plus la notion</i> donc ça fait l'équivalent d'une chute de 30 étages donc <i>c'est énorme d'où la prudence d'où la prudence de quoi d'essayer de respecter au maximum</i>
766. Collectif :	les limitations de vitesse
767. E :	<i>les limitations de vitesse s'il y a des limitations hein c'est pas pour nous embêter c'est que ça a une incidence okay c'est bon pour tout le monde ? donc ça c'était pour l'énergie cinétique</i>

L'enseignant introduit dans le milieu sa vision de l'équivalence entre énergie cinétique et vitesse routière : « c'est énorme » [T 744 et T 765]. Il qualifie de plus cette équivalence (quand on double la vitesse, l'énergie est multipliée par 4) de « violente » [T 742 et T 744].

Il justifie cette application de la formule de l'énergie cinétique dans l'entretien post [Post 84] :

84. E :	(...) enfin on voit que ça a une importance et puis montrer justement que cette vitesse au carré tu doubles ta vitesse tu as 4 fois plus d'énergie enfin c'est alors du coup faire l'analogie avec je pense que <i>ça peut marquer</i> quoi c'est équivalent à une chute de 30 étages enfin <i>c'est énorme</i> et du coup <i>pour essayer de responsabiliser</i> à ce niveau là faire attention même si voilà on est pas tous des fois exempts de reproches mais je veux dire essayer d'avoir aussi cette vision là de responsabilisation
---------	--

C'est l'aspect « marquant » qui intéresse l'enseignant pour responsabiliser les élèves [Ante 42] :

42. E :	(...) avec la génération et les élèves qu'on a actuellement qui demande beaucoup de concret <i>beaucoup de choses qui marquent l'esprit</i> et je me dis que ce qu'on fait ça reste parfois trop abstrait et pas assez voila et donc du coup c'est pour ça malheureusement parce que voila j'essaie de plus en plus de rompre d'essayer même si j'avoue c'est pas évident tout le temps parce qu'on est pris dans la préparation des cours donc on reste près du programme des choses
---------	---

Finalement, ce qui a guidé le choix de l'enseignant A, c'est « qu'il a été choqué » et que cet aspect choquant est du coup un élément de sensibilisation de son point de vue. Il considère de plus cet aspect choquant comme un élément important permettant l'apprentissage des élèves.

11.3.3.4 Conclusions

Les énoncés empiriques sont le plus souvent porteurs des valeurs éducatives de l'enseignant. En effet, ces énoncés sont support dans la séance d'une volonté de l'enseignant de sensibiliser les élèves à certaines thématiques, telles que les différences socioéconomiques entre pays (activité sur l'unité d'énergie qu'est la TEP), la sécurité routière (activité sur l'énergie cinétique) et l'écologie (l'exemple propédeutique de l'éolienne qui revient plusieurs fois dans la séance). Ce n'est pas le cœur de l'enseignement de la physique puisque cette sensibilisation s'opère par les exemples qui sont l'objet d'application des savoirs issus de la physique : pour les différences socioéconomiques entre pays, il s'agit d'une utilisation de l'unité d'énergie TEP ; pour la sécurité routière, il s'agit d'une application de la formule de l'énergie cinétique et pour l'écologie, il s'agit de l'angle « défi énergétique » pour traiter le chapitre de l'énergie et de l'exemple de l'éolienne comme convertisseur d'énergie.

Cette sensibilisation doit de plus « marquer » les élèves pour l'enseignant, ce qui se retrouve dans les exemples développées : l'activité sur la TEP s'attache aux consommations d'énergie « extrêmes » entre les USA et les pays d'Afrique, le calcul de l'énergie cinétique pour la sécurité routière renvoie à une analogie avec une chute d'un immeuble.

Cette volonté d'éduquer les élèves s'exprime dans l'action quand la construction rationnelle du concept d'énergie laisse place aux applications des savoirs. On peut alors faire un parallèle avec les activités de sensibilisation : de même qu'il faut connaître le savoir pour l'appliquer, un savoir est nécessaire pour l'action morale des élèves. La responsabilisation passe alors pour l'enseignant A par la connaissance d'un savoir : une comparaison entre une vitesse et une chute d'immeuble, une comparaison entre consommations énergétiques des pays, un savoir sur une source renouvelable d'énergie, un savoir sur des unités d'énergie de la vie courante. Autrement dit, tout comme les savoirs de la physique expliquent le monde, les applications des savoirs de la physique expliquent la conduite à tenir. Pour reprendre la distinction de Wittgenstein, ce sont ici des énoncés empiriques qui fondent la responsabilisation des élèves.

11.4 Conclusion : un tableau de la pratique de l'enseignant A dans la séance A₁

11.4.1 Qu'est-ce qui est objet d'enseignement dans le jeu didactique ?

Nous avons vu que l'enseignement des savoirs liés à l'énergie s'apparente dans cette séance à l'enseignement d'un langage, avec l'émergence d'un lexique spécialisé, d'une grammaire épistémologique qui construit une articulation entre les savoirs et enfin d'une sémantique car les nouveaux savoirs modifient le réseau conceptuel dans lequel ils s'inscrivent et acquièrent une nouvelle signification.

Ce langage scientifique scolaire est introduit progressivement dans la séance, en partant de l'usage courant qu'ont les élèves de l'énergie. On assiste alors dans la séance au passage d'une topogénèse élève vers une topogénèse dominante mixte ou du côté de l'enseignant. De même, l'usage courant est développé dans une forme de communication dialogique qui cède le pas dans la séance à une forme autoritative qui correspond alors au point de vue du langage scolaire scientifique. On retrouve une topogénèse élève quand un travail individuel est fait à propos d'activités calculatoires.

L'étude de la chronogénèse nous montre que cette construction langagière, faite d'énoncés grammaticaux, est scandée par des activités d'application. Ces activités ont un double rôle : elles permettent d'appliquer les savoirs en cours de construction, mais aussi elles sont riches en valeurs éducatives, c'est-à-dire en intention que l'enseignant a dans le but d'éduquer les élèves. Ces activités sont donc porteuses de *moralité*. Elles ne sont pas le cœur de l'enseignement puisque la construction du langage est première et se déroule sur toute la séance, mais plutôt en périphérie, quand l'occasion le permet.

11.4.2 Comment le jeu didactique est-il joué ?

Nous reprenons ici « in extenso » la conclusion de la partie 11.2.4 (pp. 186-187).

Une topogénèse majoritairement sous la responsabilité de l'enseignant

La topogénèse est sous la responsabilité des élèves en début de séance, les enjeux des jeux sont alors liés à des énoncés de langage courant et les formes de communication sont dialogiques. La topogénèse passe ensuite sous la responsabilité majoritaire de l'enseignant, avec des enjeux de savoirs qui sont majoritairement des énoncés grammaticaux et des formes de communication autoritatives. On peut interpréter ce passage comme une dévolution des jeux à venir, dont l'enjeu principal concerne des énoncés grammaticaux.

On a dans la séance A₁ une action conjointe qui se déroule dans une organisation sociale de la classe majoritairement en classe entière (83.5% du temps de la séance), c'est-à-dire que l'enseignant se tient le plus souvent au tableau, devant le groupe classe. Cette organisation particulière de la classe favorise une forme particulière des échanges de communication avec les élèves.

La topogénèse est alors essentiellement du côté de l'enseignant : il prend en charge l'évolution du milieu de manière autoritative. La quasi-exclusivité des échanges se font de

plus entre l'enseignant et les élèves (92%), plutôt qu'entre les élèves (8%). L'enseignant a donc un rôle central puisque la majorité des échanges passe par lui et que l'organisation de la classe fait qu'il est « sur scène ». Les élèves ont la responsabilité du milieu quand de nouveaux savoirs ne sont les enjeux des jeux d'apprentissage.

Une mésogénèse interactive : l'enseignant alimente l'interaction en introduisant des éléments dans le milieu et en réagissant aux réponses des élèves

La séance A₁ est fortement interactive (78% du temps de la séance). Toutefois, c'est l'enseignant qui contrôle l'évolution du milieu en initiant la plupart des interactions et en introduisant majoritairement des éléments dans le milieu. L'enseignant laisse ainsi vivre majoritairement les éléments du milieu qui correspondent au point de vue institutionnel du savoir à enseigner. Les formes d'interaction sont alors entre l'enseignant et un élève particulier, de type I-R-E (donc courtes) ou I-R-P jusqu'à ce qu'un élève donne la réponse attendue.

Une chronogénèse « additive » de jeux à chronogénèse accélérée, dont les enjeux sont majoritairement des énoncés de type grammatical

La séance A₁ est une succession de jeux à chronogénèse accélérée, dont les enjeux de savoir sont indépendants les uns les autres, puisque l'institutionnalisation de la plupart des jeux donne lieu à une trace écrite. Cette succession de jeux joués peut se décrire comme une addition de jeux joués indépendamment. Toutefois, l'enseignant intègre anciens et nouveaux savoirs en jouant sur des échelles de temps de la dévolution. En effet, il assure la continuité des savoirs au-delà de leur succession, puisque certains jeux préparent les jeux à venir et reprennent des savoirs déjà vus antérieurement. Autrement dit, l'enseignant A intègre des savoirs institutionnalisés de manière séparés en jouant sur des échelles de temps de dévolution qui peuvent dépasser le cadre temporel d'une séance.

De nombreux savoirs sont institutionnalisés et ils relèvent majoritairement d'énoncés grammaticaux. On observe de plus qu'il y a alternance entre des phases où ce sont des énoncés grammaticaux qui sont l'enjeu de l'action conjointe et d'autres phases où les énoncés empiriques sont premiers.

11.4.3 Quelle épistémologie pratique est mise en œuvre ?

Une théorie implicite de l'enseignement / apprentissage participative et transmissive pour les savoirs scientifiques

L'enseignant met en œuvre des connaissances « en acte » relatives à l'enseignement / apprentissage. En effet, la part prédominante de la forme de communication interactive montre que pour l'enseignant, apprendre c'est être acteur dans des formes langagières, c'est participer au milieu par le langage. Enseigner, c'est donc solliciter les élèves de façon à les rendre acteurs du milieu: la forme de la séance est alors souvent du cours dialogué. L'enseignant rend les élèves acteurs de façon dialogique principalement dans les moments où des savoirs scientifiques ne sont pas premiers : il s'agit alors pour lui de « faire émerger » leurs représentations, sans que celles-ci ne soient ensuite réinvesties. En ce sens nous qualifions la théorie implicite de l'enseignement/apprentissage de participative. L'enseignant

A considère de plus que les élèves apprennent en étant « marqués », c'est-à-dire qu'il recherche pour son enseignement des situations qu'il suppose susceptibles d'affecter les élèves.

Nous avons également vu que c'est l'enseignant qui a majoritairement le contrôle de l'évolution du milieu et des interactions. La forme prédominante de communication est majoritairement autoritative, ce qui signifie que les savoirs scientifiques institutionnels jouent le rôle d'une norme qui contraint l'action conjointe. La topogénèse majoritairement du côté de l'enseignant, couplée à une forme d'organisation en classe entière, fait que l'enseignant a une place centrale dans ce dispositif : enseigner c'est donc amener les élèves à entrer dans un monde institutionnel fait de savoirs et l'action de l'enseignant consiste à tisser les fibres de ce monde à partir de ce qu'amènent les élèves, sous son contrôle. On peut par conséquent qualifier la théorie implicite de l'apprentissage qu'il met majoritairement en œuvre de transmissive.

Une théorie implicite des savoirs scientifiques s'appuyant sur plusieurs courants épistémologiques

Le contrôle du milieu par l'enseignant est exercé en s'appuyant dans l'action sur des connaissances relatives à la physique et à la science. En effet, la construction des énoncés grammaticaux liés à l'énergie est marquée par différentes positions épistémologiques, qui vont du réalisme jusqu'au rationalisme. Ces positions ont pour fonction de construire de façon implicite la grammaire dans laquelle les savoirs scientifiques sont articulés. La physique sert à « expliquer » le monde qui nous entoure, en ce sens, l'enseignant se pose comme garant de l'explication fournie, à travers des savoirs scientifiques stabilisés. Autrement dit, les savoirs scientifiques fondent un monde auquel il donne accès aux élèves et les règles de ce monde sont fixées par ce qu'il sait de la science et de la physique. Cette explication du monde est alors un outil pour comprendre le monde et agir sur lui. Aux savoirs scientifiques succèdent donc des applications de ce savoir pour comprendre le monde.

Une théorie implicite de l'éducation

Les domaines d'application de ce langage mettent en œuvre les valeurs de l'enseignant. En effet, s'il apporte une certaine vision du monde et qu'il se pose en garant de cette vision, les domaines d'application sont choisis par les valeurs éducatives qu'il introduit dans l'action. Il cherche alors à responsabiliser les élèves à l'écologie, à la sécurité routière, à l'inégalité sociale d'accès aux ressources énergétiques. De même que les savoirs expliquent le monde, la connaissance de ces savoirs et des explications doit permettre la fondation d'une action morale des élèves sur le monde, à travers la construction d'énoncés empiriques sur ce monde.

Il y a donc deux niveaux dans l'arrière-plan des déterminants qui agissent dans l'action : des connaissances de physique et sur la science déterminent la manière de construire le langage de la physique (les énoncés grammaticaux) ; des valeurs déterminent les domaines de ce que ce langage nous dit du monde (les énoncés empiriques). L'avant-plan est alors dominé par la manière dont le jeu didactique doit être joué : les savoirs sont premiers et c'est l'enseignant qui les transmet, par l'interaction, il doit expliquer aux élèves un savoir qui leur est indépendant.

12. Analyse de la séance A₂

Comme précédemment, nous présentons successivement :

- la structuration de la séance A₂ en thèmes et jeux d'apprentissage, sous la forme d'une mise en narration, puis d'un synopsis (12.1) ;
- les caractéristiques de la pratique de l'enseignant A dans cette séance A₂ (12.2) ;
- l'analyse structurée des jeux de langage (12.3) ;
- le tableau de l'action conjointe de l'enseignant A lors de la séance A₂ (12.4).

Nous renvoyons également le lecteur à l'annexe relatif à la séance A₂, pour une consultation de l'analyse systématique de quelques jeux d'apprentissage (annexes, p. 133) et du synopsis à l'échelle des épisodes de la séance A₂ (annexes, p. 118).

12.1. Construction des signes à partir du corpus principal - Synopsis de la séance

Nous réduisons dans cette partie le corpus principal, de façon à construire des signes. Nous commençons donc par décrire notre corpus principal pour cette séance (12.1.1). Nous structurons ensuite la séance en thèmes et jeux d'apprentissage par une mise en narration (12.1.2). Nous synthétisons alors cette structuration dans un tableau synoptique (12.1.3).

12.1.1 Le corpus principal : la bande-vidéo de la séance

La bande vidéo principale est issue de la caméra qui filme les élèves situés à gauche de la classe (point de vue de l'enseignant).

La bande vidéo commence au bout de 5 minutes quand les élèves sont installés (ce moment est défini comme temps 0 de l'analyse). Une pause de 5 minutes est effectuée au bout de 1h04 minutes de bande (la bande vidéo est alors arrêtée jusqu'à la reprise). Le film dure 1h58min.

12.1.2 Narration de la séance : structuration en thèmes et jeux d'apprentissage

Nous présentons ici une première structuration de la séance, que nous avons organisée en thèmes en suivant l'ordre chronologique de leur succession. La manière dont chaque thème est abordé est ensuite décrite et nous listons l'ensemble des jeux d'apprentissage qui s'y déroule.

Cette séance a pour objectif global d'aborder le changement climatique.

- Thème n°1 : Le problème du changement climatique

L'enseignant distribue aux élèves un dessin¹⁰⁹ représentant la Terre comme une « bombe » et laisse les élèves s'exprimer sur le sens à donner au dessin : une élève propose le terme de « bombe climatique », un autre « réchauffement climatique ».

L'enseignant propose alors à des élèves volontaires d'associer au tableau des mots ou expressions à « bombe climatique » ou « réchauffement climatique ». Il instaure ensuite la prise de notes : le titre du chapitre (« le changement climatique ») est écrit au tableau et l'objectif de la séance est défini (étudier les facteurs influençant le changement climatique et les solutions que la science peut apporter). L'enseignant interroge alors les élèves sur les sens des 2 mots « changement » et « climatique ».

Le thème n°1 peut par conséquent se diviser en 4 jeux d'apprentissage :

- Décrire et interpréter un document ;
- Associer des mots ou expressions à « bombe climatique » ;
- Ecrire le titre de la séance ;
- Préciser les termes « changement » et « climatique ».

- Thème n°2 : La définition du climat

L'enseignant demande aux élèves de définir le climat et les élèves proposent des mots clés comme « précipitations », « température », « pression ». Il interroge alors les élèves sur la différence qu'ils font entre climat et météo, puis définit le climat par contraste avec la météo.

Le thème n°2 donne lieu à 2 jeux d'apprentissage :

- Associer des mots-clés à « climat » ;
- Préciser la différence entre climat et météo.

- Thème n°3 : L'influence du soleil sur le climat

L'enseignant questionne les élèves sur les facteurs influençant le climat et un élève développe le rôle que joue le soleil sur le climat de la Terre. L'enseignant introduit alors l'idée de machine climatique pour décrire le climat et focalise sur l'influence du soleil. Il distribue alors un photocopié avec deux documents (n°1 et n°2)¹¹⁰ que les élèves lisent individuellement. La description de ces documents fait ensuite l'objet d'échanges entre l'enseignant et les élèves puis l'enseignant dicte la conclusion tout en interrogeant les élèves afin qu'ils précisent certains points qu'il dicte.

Le thème n°3 est composé de 2 jeux d'apprentissage :

- Indiquer un facteur qui influence le climat ;
- Préciser l'influence du soleil sur le climat.

- Thème n°4 : Le rôle de l'hydrosphère

L'enseignant questionne les élèves sur l'influence de la latitude sur le climat et un élève introduit le terme de flux pour qualifier les échanges de chaleur entre les points du globe terrestre. Un autre élève introduit également le terme de courants océaniques et sous la conduite de l'enseignant, les élèves distinguent les courants océaniques surfaciques et de profondeur. L'enseignant dicte finalement la conclusion du rôle de l'hydrosphère sur le climat.

Le thème n°4 est ainsi composé de 2 jeux d'apprentissage :

- Expliquer les conséquences d'une différence de température ;
- Identifier les différents courants marins.

¹⁰⁹ Voir les annexes, p. 110.

¹¹⁰ Voir les annexes, pp. 110-111.

- Thème n°5 : Le rôle de l'atmosphère

L'enseignant questionne les élèves sur d'autres facteurs pouvant influencer le climat et un élève introduit l'expression « effet de serre ». L'enseignant demande alors des précisions sur l'effet de serre et un élève est envoyé au tableau pour schématiser l'explication qu'il vient de donner à l'oral. Une discussion s'engage entre l'enseignant et les élèves et le schéma est progressivement complété. L'enseignant distribue ensuite un texte sur l'effet de serre (n°3)¹¹¹ qui est lu d'abord individuellement, et qui permet ensuite à une élève de préciser le schéma au tableau. La dénomination « effet de serre » est alors justifiée et ces conséquences sur le climat et son aspect bénéfique/néfastes sont discutées. L'enseignant fait finalement construire au tableau les représentations spatiales de quelques molécules à effet de serre afin de justifier leur action sur le climat.

Le thème n°5 est ainsi composé de 9 jeux d'apprentissage :

- Indiquer un autre facteur qui influence le climat ;
- Décrire l'effet de serre dans une première approche ;
- Schématiser l'effet de serre ;
- Schématiser plus précisément l'effet de serre ;
- Justifier le nom « effet de serre » donné au phénomène ;
- Décrire les conséquences de l'effet de serre sur la température moyenne de la Terre ;
- Indiquer si l'effet de serre est néfaste ;
- Dessiner les représentations spatiales de quelques GES ;
- Décrire l'action des GES sur le climat.

- Thème n°6 : Le rôle de la biosphère

L'enseignant demande aux élèves un autre facteur influençant le climat et un élève introduit le mot biosphère. L'enseignant note alors ce facteur au tableau et le questionnement des élèves conduit à l'association biosphère – « les vivants ». L'enseignant accepte cette définition et questionne les élèves sur l'effet de la biosphère sur le climat. La notion de photosynthèse est introduite par les élèves et l'enseignant institutionnalise l'importance du cycle du carbone sur le climat.

Le thème n°6 est ainsi composé de 3 jeux d'apprentissage :

- Indiquer un autre facteur qui influence le climat ;
- Définir le terme « biosphère » ;
- Expliquer l'impact de la biosphère sur le climat.

- Thème n°7 : Le rôle de la cryosphère

L'enseignant demande à nouveau aux élèves un autre facteur influençant le climat. Devant leur silence, il reprend l'exemple de la fonte des glaces introduit par un élève lors du thème n°1. Les élèves font alors un lien entre fonte des glaces et densité de l'eau et l'enseignant s'appuie sur leurs propos pour constater l'influence de la glace sur le climat. Il prend ensuite l'exemple du ski afin que les élèves introduisent la notion de réverbération. Lors de l'institutionnalisation, l'enseignant fait trouver aux élèves le mot « cryosphère » puis conclut sur le pouvoir réflecteur de la glace et son incidence sur le climat.

Le thème n°7 est ainsi composé d'un jeu d'apprentissage :

- Expliquer le rôle des glaces sur le climat.

- Thème n°8 : La mise en évidence du climat passé

L'enseignant questionne les élèves sur la façon dont on pourrait prouver l'existence d'un changement du climat. Les élèves proposent alors plusieurs techniques, dont la mesure du

¹¹¹ Voir les annexes, pp. 111-112.

taux de CO₂ emprisonné dans les carottes glaciaires. L'enseignant recentre alors sur les techniques de mesure de la température et les élèves proposent l'identification des fossiles. L'enseignant introduit alors l'analyse isotopique en commençant par un rappel sur les isotopes, puis en expliquant le principe de cette analyse et en développant un exemple.

Le thème n°8 est ainsi composé de 4 jeux d'apprentissage :

- Indiquer une technique pertinente permettant de rendre compte du changement climatique ;
- Indiquer une technique pertinente permettant de mesurer les températures à l'échelle géologique ;
- Expliquer la technique de l'analyse isotopique ;
- Appliquer la technique de l'analyse isotopique sur un exemple.

- Thème n°9 : L'évolution de la température moyenne au cours du temps

L'enseignant distribue un graphe (doc.4)¹¹² dont les élèves identifient immédiatement l'objet : la représentation des variations de température en fonction des ères géologiques. Sous sa conduite, ils distinguent les différentes ères (en particulier les ères glaciaires) et imaginent les causes des variations observées, dont la variation de l'obliquité de la Terre. L'enseignant distribue ensuite un deuxième graphe (doc.5)¹¹³ que les élèves décrivent comme étant l'évolution de la température depuis 1850. Ils interprètent alors l'augmentation de la température moyenne de la Terre depuis 1850 par l'activité humaine, notamment industrielle. L'enseignant institutionnalise alors ce qui a été dit à propos des deux documents.

Le thème n°9 est ainsi composé de 5 jeux d'apprentissage :

- Décrire l'évolution des températures à l'échelle des temps géologiques ;
- Interpréter l'évolution des températures à l'échelle des temps géologiques ;
- Décrire l'évolution des températures depuis 1850 ;
- Interpréter l'évolution des températures depuis 1850 ;
- Recopier un résumé de l'étude de documents.

- Thème n°10 : L'évolution de la concentration de GES dans l'atmosphère

L'enseignant distribue un polycopié présentant des courbes (document n°6)¹¹⁴ que les élèves doivent identifier. Ils identifient l'évolution au cours du temps de la concentration de différents GES dans l'atmosphère et décrivent une augmentation. L'enseignant met en relation cette évolution avec l'évolution de la température moyenne de la Terre vue auparavant et les élèves concluent à une similitude, ce qui permet à l'enseignant d'introduire la notion d' « origine anthropique » du changement climatique. L'enseignant demande ensuite aux élèves de préciser les facteurs qui expliqueraient l'évolution de la concentration en GES dans l'atmosphère outre l'industrialisation et il oriente les élèves sur l'influence de la population mondiale. L'enseignant dicte alors ce qu'il faut retenir de ce thème.

Le thème n°10 est ainsi composé de 4 jeux d'apprentissage :

- Décrire et interpréter la courbe de l'évolution de la concentration des GES dans l'atmosphère ;
- Comparer les différentes courbes ;
- Indiquer un autre facteur qui influence les rejets de GES ;
- Ecrire la conclusion du thème.

¹¹² Voir les annexes, p. 113.

¹¹³ Voir les annexes, p. 113.

¹¹⁴ Voir les annexes, p. 114.

- Thème n°11 (1^{ère} partie) : Les conséquences du changement climatique

L'enseignant demande aux élèves d'imaginer en binôme quelques conséquences du changement climatique.

Le thème n°11 (1^{ère} partie) est ainsi composé d'un jeu d'apprentissage joué en binôme :

- Prévoir des conséquences du changement climatique : travail de groupe.

- Thème n°12 : La modélisation

A l'issue du travail des binômes, l'enseignant questionne les élèves sur la manière dont la prévision des conséquences est effectuée par les scientifiques. Les élèves déclarent qu'il est nécessaire d'utiliser les résultats du passé et d'utiliser des ordinateurs : la prévision des conséquences passe ainsi par la construction de modélisations. L'enseignant questionne alors les élèves sur la modélisation et sur le rôle des ordinateurs. Il distribue ensuite un document (n°7)¹¹⁵ décrivant les différentes interactions entre les principaux facteurs influençant le climat. Les élèves décrivent le document et l'enseignant dicte la définition de « modèle » en l'illustrant par l'exemple du climat. L'enseignant demande alors aux élèves pourquoi il est difficile de modéliser le climat : un élève introduit la multiplicité des interactions possibles entre les facteurs. L'enseignant conclut alors sur la modélisation.

Le thème n°12 est ainsi composé de 4 jeux d'apprentissage :

- Expliquer des techniques de prévision ;
- Définir la modélisation ;
- Définir la modélisation appliquée au climat ;
- Interpréter la complexité à modéliser le climat.

- Thème n°11 (2^{ème} partie) : Les conséquences du changement climatique

L'enseignant revient aux conséquences imaginées par les élèves : ceux-ci doivent en noter quelques unes au tableau et l'enseignant écrit lui-même les dernières propositions. Il institutionnalise ensuite le statut « probable » des conséquences imaginées par les élèves. L'enseignant reprend alors les conséquences écrites au tableau et demande aux élèves de les justifier à l'oral.

Le thème n°11 (2^{ème} partie) est ainsi composé de 2 jeux d'apprentissage :

- Prévoir des conséquences du changement climatique : restitution des groupes ;
- Justifier les conséquences prévues.

- Thème n°13: Les solutions pour limiter le changement climatique

L'enseignant met l'accent sur les effets néfastes des conséquences du changement climatique : il introduit alors le terme de « défis énergétiques » pour qualifier les solutions envisagées pour limiter ces changements. Il questionne alors les élèves sur les solutions qu'ils connaissent : les élèves proposent différentes énergies « renouvelables ». L'enseignant distribue alors un document (n°8)¹¹⁶ présentant une centrale photovoltaïque. Il questionne les élèves sur la nature de la conversion dans une cellule photovoltaïque, d'abord à l'oral puis en envoyant un élève au tableau dessiner la chaîne énergétique. L'enseignant questionne les élèves sur les avantages de la centrale solaire puis cherche à comparer ces avantages à d'autres types de centrale. Les élèves introduisent alors la centrale nucléaire, dont les inconvénients sont discutés. L'enseignant institutionnalise finalement les avantages / inconvénients de la centrale solaire. Le thème n°13 est ainsi composé de 6 jeux d'apprentissage :

- Associer un qualificatif au changement climatique ;

¹¹⁵ Voir les annexes, p. 115.

¹¹⁶ Voir les annexes, p. 116.

- Proposer des solutions pour limiter les GES ;
- Définir le photovoltaïque ;
- Ecrire la chaîne énergétique d'une cellule photovoltaïque ;
- Identifier les avantages / inconvénients d'une centrale solaire ;
- Identifier les avantages / inconvénients d'une centrale nucléaire.

- Thème n°14: Un modèle schématique de démarche scientifique

L'enseignant distribue un document (n°9)¹¹⁷ constitué de trois cases reliées par des flèches : observer → comprendre → agir. Les élèves décrivent le document comme étant un schéma de la démarche scientifique, détaillent les liens entre les trois cases puis l'enseignant conclut sur l'interrelation des différents éléments.

Le thème n°14 est ainsi composé d'un jeu d'apprentissage :

- Décrire et expliquer un modèle schématique de la démarche scientifique.

- Thème n°15: L'importance de s'intéresser au changement climatique

L'enseignant introduit la controverse liée au changement climatique : ce changement est en fait « une hypothèse », à laquelle certaines personnes s'opposent. Il questionne ensuite les élèves sur l'importance que revêt la question du changement climatique. Les élèves répondent que même si le changement climatique n'existe pas, il vaut mieux « prévenir que guérir », en ce sens il est important de s'y intéresser. L'enseignant conclut la séance en liant la question du changement climatique à la fin à venir des sources fossiles d'énergie.

Le thème n°15 est ainsi composé d'un jeu d'apprentissage :

- Evaluer la pertinence de s'intéresser au changement climatique.

12.1.3 Synopsis de la séance

Nous présentons ici une synthèse sous la forme d'un tableau synoptique de la structuration précédente, complétée par des points de repère liées aux annexes (numéros de tour de parole tels qu'ils se trouvent sur la transcription, voir les annexes, p. 159).

Le tableau n°1-A₂ ci-dessous constitue ainsi la synopsis de la séance sur le changement climatique de l'enseignant A.

¹¹⁷ Voir annexes, p. 117.

Tableau n°1-A₂ : Synopsis de la séance A₂

Thème	Temps	Tour de paroles	Jeux d'apprentissage	Organisation de la classe
Thème n°1 Le problème du changement climatique	(0:00)→ (1:10)	1→26	Décrire et interpréter un document	Classe entière
	(1:10)→ (3:04)	26→41	Associer des mots ou expressions à « bombe climatique »	Élève au tableau
	(3:04)→ (4:39)	41→43	Ecrire le titre de la séance	Classe entière
	(4:39)→ (6:21)	43→78	Préciser les termes « changement » et « climatique »	Classe entière
Thème n°2 La définition du climat	(6:21)→ (7:42)	78→88	Associer des mots-clés à « climat »	Classe entière
	(7:42)→ (10:34)	88→114	Préciser la différence entre climat et météo	Classe entière
Thème n°3 L'influence du soleil sur le climat	(10:34)→ (12:20)	114→124	Indiquer un facteur qui influence le climat	Classe entière
	(12:20)→ (23:20)	124→208	Préciser l'influence du soleil sur le climat	Individuel / Classe entière
Thème n°4 Le rôle de l'hydrosphère	(23:20)→ (26:11)	209→230	Expliquer les conséquences d'une différence de température	Classe entière
	(26:11)→ (27:44)	230→247	Identifier les différents courants marins	Classe entière
Thème n°5 Le rôle de l'atmosphère	(27:44)→ (28:41)	247→257	Indiquer un autre facteur qui influence le climat	Classe entière
	(28:41)→ (29:07)	257→259	Décrire l'effet de serre dans une première approche	Classe entière
	(29:07)→ (32:38)	259→282	Schématiser l'effet de serre	Élève au tableau
	(32:38)→ (43:54)	282→323	Schématiser plus précisément l'effet de serre	Classe entière / Individuel / élève au tableau
	(43:54)→ (46:01)	323→358	Justifier le nom « effet de serre » donné au phénomène	Classe entière
	(46:01)→ (47:53)	358→370	Décrire les conséquences de l'effet de serre sur la température moyenne de la Terre	Classe entière
	(47:53)→ (49:12)	370→387	Indiquer si l'effet de serre est néfaste	Classe entière
	(49:12)→ (51:17)	387→412	Dessiner les représentations spatiales de quelques GES	Élève au tableau /
	(51:17)→ (52:43)	412→423	Décrire l'action des GES sur le climat	classe entière
Thème n°6 Le rôle de la biosphère	(52:43)→ (53:15)	423→431	Indiquer un autre facteur qui influence le climat	Classe entière
	(53:15)→ (53:46)	431→440	Définir le terme « biosphère »	Classe entière
	(53:46)→ (55:18)	440→465	Expliquer l'impact de la biosphère sur le climat	Classe entière

Thème	Temps	Tour de paroles	Jeux d'apprentissage	Organisation de la classe
Thème n°7 Le rôle de la cryosphère	(55:18)→(58:12)	465→493	Expliquer le rôle des glaces sur le climat	Classe entière
Thème n°8 La mise en évidence du climat passé	(58:12)→(59:37)	493→515	Indiquer une technique permettant de rendre compte du changement climatique	Classe entière
	(59:37)→(1:01:03)	515→539	Indiquer une technique permettant de mesurer les températures à l'échelle géologique	Classe entière
	(1:01:03)→(1:03:33)	539→565	Expliquer la technique de l'analyse isotopique	Classe entière
PAUSE				
Thème n°8 La mise en évidence du climat passé	(1:04:19)→(1:07:47)	567→570	Expliquer la technique de l'analyse isotopique	Classe entière
	(1:07:47)→(1:08:43)	570→583	Appliquer la technique de l'analyse isotopique	Classe entière
Thème n°9 L'évolution passée de la température moyenne	(1:08:43)→(1:11:12)	583→605	Décrire l'évolution des températures à l'échelle des temps géologiques	Classe entière
	(1:11:12)→(1:12:49)	605→634	Interpréter l'évolution des températures à l'échelle des temps géologiques	Classe entière
	(1:12:49)→(1:13:13)	634→646	Décrire l'évolution des températures depuis 1850	Classe entière
	(1:13:13)→(1:14:34)	646→673	Interpréter l'évolution des températures depuis 1850	Classe entière
	(1:14:34)→(1:17:02)	673→680	Ecrire un résumé de l'étude de documents	
Thème n°10 L'évolution de la concentration en GES dans l'atmosphère	(1:17:02)→(1:20:24)	680→736	Décrire et interpréter la courbe de l'évolution de la concentration des GES dans l'atmosphère	Classe entière
	(1:20:24)→(1:22:25)	736→743	Comparer les différentes courbes	Classe entière
	(1:22:25)→(1:23:54)	743→772	Indiquer un autre facteur qui influence les rejets de GES	Classe entière
	(1:23:54)→(1:26:02)	772→772	Ecrire la conclusion du thème	Classe entière
Thème n°11 Les conséquences du changement climatique	(1:26:02)→(1:30:57)	772→794	Prévoir des conséquences du changement climatique : travail de groupe	En groupe
Thème n°12 La modélisation	(1:30:57)→(1:32:55)	795→820	Expliquer des techniques de prévision	Classe entière
	(1:32:55)→(1:34:01)	820→846	Définir la modélisation	Classe entière
	(1:34:01)→(1:36:19)	846→860	Définir la modélisation appliquée au climat	Classe entière
	(1:36:19)→(1:37:43)	860→881	Interpréter la complexité à modéliser le climat	Classe entière

Thème	Temps	Tour de paroles	Jeux d'apprentissage	Organisation de la classe
Thème n°11 Les conséquences du changement climatique	(1:37:43)→(1:43:15)	881→959	Prévoir des conséquences du changement climatique : restitution des groupes	Élève au tableau / classe entière
	(1:43:15)→(1:47:51)	959→1017	Justifier les conséquences prévues	Classe entière
Thème n°13 Les solutions pour limiter le changement climatique	(1:47:51)→(1:49:00)	1017→1026	Associer un qualificatif au changement climatique	Classe entière
	(1:49:00)→(1:50:01)	1026→1045	Proposer des solutions pour limiter les GES	Classe entière
	(1:50:01)→(1:50:30)	1045→1049	Définir le photovoltaïque	Classe entière
	(1:50:30)→(1:51:41)	1050→1061	Ecrire la chaîne énergétique d'une cellule photovoltaïque	Élève au tableau
	(1:51:41)→(1:52:16)	1061→1067	Identifier les avantages / inconvénients d'une centrale solaire	Classe entière
	(1:52:49)→(1:53:20)	1082→1085	Identifier les avantages / inconvénients d'une centrale nucléaire	Classe entière
(1:52:16)→(1:52:49)	1067→1082	Identifier les avantages / inconvénients d'une centrale nucléaire	Classe entière	
Thème n°14 La démarche scientifique	(1:53:20)→(1:55:40)	1085→1114	Expliquer la démarche scientifique	Classe entière
Thème n°15 L'importance de s'intéresser au changement climatique	(1:55:40)→(1:57:52)	1114→1134	Evaluer la pertinence de s'intéresser au changement climatique	Classe entière

12.2. Caractéristiques de la pratique de l'enseignant A dans la séance A₂

Nous présentons dans cette partie les résultats du traitement de Transana et décrivons la pratique de l'enseignant A dans la séance A₂, en nous appuyant sur le codage que nous avons effectué. Nous illustrons alors ces descriptions à l'aide de quelques extraits issus de la transcription. Nous renvoyons le lecteur aux annexes pour une explicitation du codage effectué pour chaque épisode (annexes, p. 118).

Nous organisons alors le compte-rendu des descripteurs suivant qu'ils décrivent des caractéristiques de :

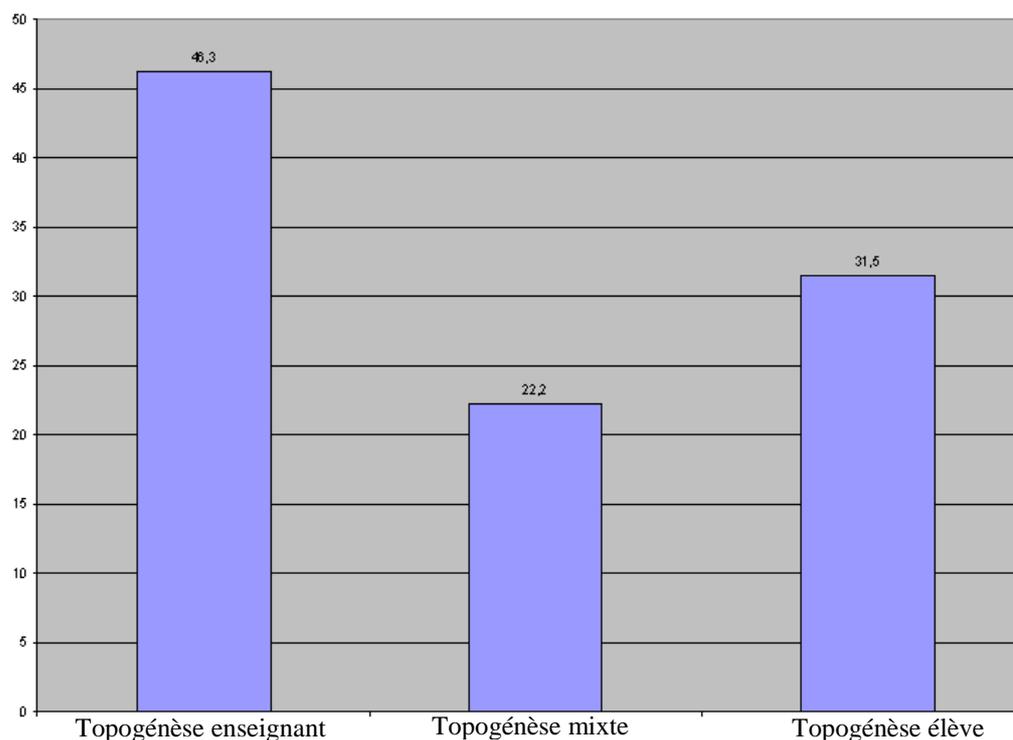
- la topogénèse (12.2.1) ;
- la mésogénèse (12.2.2) ;
- la chronogénèse (12.2.3).

12.2.1 Une topogénèse majoritairement du côté de l'enseignant

Nous commençons notre analyse en décrivant la répartition en % de la topogénèse lors de la séance A₂ : la topogénèse est majoritairement sous la responsabilité de l'enseignant (12.2.1.1). Nous croisons alors plusieurs descripteurs (« formes de communication » et « formes d'organisation sociale du travail en classe ») pour compléter la description de l'évolution de la topogénèse (12.2.1.2). Nous mobilisons alors des extraits pour analyser les modalités particulières de topogénèse, dans les quelques épisodes où celle-ci est sous la responsabilité des élèves (12.2.1.3) ou bien « mixte » (12.2.1.4). Nous caractérisons également les épisodes où c'est l'enseignant qui est responsable de la topogénèse (12.2.1.5). Nous concluons finalement en résumant les principales caractéristiques de la topogénèse dans la séance A₂ (12.2.1.6).

12.2.1.1 Une responsabilité de l'enseignant dans l'avancée du savoir

Nous représentons dans le graphique n°1-A₂ la répartition (en % du temps de la séance) de la topogénèse lors de la séance A₂ :



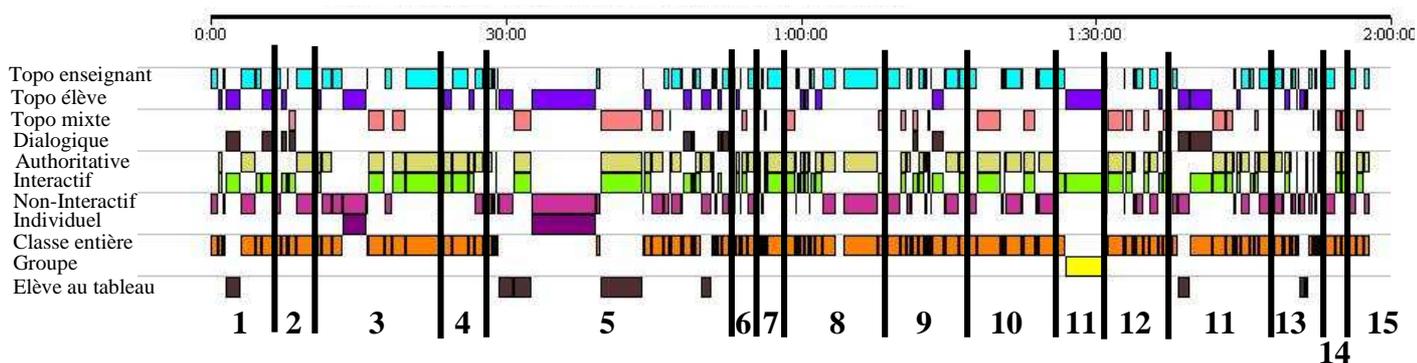
Graphique n°1-A₂ : Répartition de la topogénèse (en % du temps de la séance) lors de la séance A₂

On remarque sur le graphique n°1-A₂ que la topogénèse est majoritairement du côté de l'enseignant (46% du temps de la séance) contre 31.5% pour les élèves. On observe que 22% du temps est une topogénèse mixte. On peut donc en déduire que c'est l'enseignant qui de façon majoritaire a l'initiative du contrôle du milieu.

Nous caractérisons davantage la topogénèse dans les parties suivantes, en étudiant son évolution tout au long de la séance et en appuyant nos interprétations sur l'évolution d'autres descripteurs.

12.2.1.2 Evolution de la topogénèse au cours de la séance A₂

Nous présentons dans le graphique n°2-A₂ l'évolution de la topogénèse, ainsi que des descripteurs nous permettant d'affiner sa description (« formes de communication » et « formes d'organisation sociale du travail en classe »).



Graphique n°2-A₂ : Evolution de la topogénèse au cours du temps, associée à l'évolution d'autres descripteurs complétant la description topogénétique lors de la séance A₂

On remarque sur le graphique n°2-A₂ que :

- la topogénèse du côté des élèves est souvent associée à une variété d'organisation sociale de la classe : élève au tableau dans les thèmes n°1 (le changement climatique), n°5 (le rôle de l'atmosphère), n°10 (l'évolution de la concentration de GES dans l'atmosphère) et n°13 (les solutions pour limiter le changement climatique) ; travail individuel dans les thèmes n°3 (l'influence du soleil sur le climat) et n°5 (le rôle de l'atmosphère), travail en groupe dans le thème n°11 (les conséquences du changement climatique). Ces organisations ont en commun d'être en rupture avec l'organisation sociale majoritairement « en classe entière ».
- les formes dialogiques de communication sont associées également à la topogénèse du côté des élèves ;
- la topogénèse mixte est le plus souvent associée à une forme de communication autoritative / interactif ;
- la topogénèse est majoritairement du côté de l'enseignant, la forme de communication privilégiée est le couple autoritative / interactif et l'organisation sociale de la classe est essentiellement en classe entière ;

Nous développons davantage ces quelques éléments en spécifiant maintenant la nature des enjeux des moments où la topogénèse est sous la responsabilité des élèves (12.2.1.3), mixte (12.2.1.4) ou sous la responsabilité de l'enseignant (12.2.1.5).

12.2.1.3 Une topogénèse du côté des élèves dans les épisodes où les nouveaux savoirs de physique ne sont pas mis en jeu / où des perspectives complémentaires sont mises en avant

La topogénèse est sous la responsabilité des élèves dans plusieurs cas de figure. Nous avons vu précédemment que des formes d'organisation sociale de la classe autres qu'« en classe entière » favorisent la topogénèse du côté des élèves. Nous nous intéressons dans cette partie à spécifier davantage les occurrences de la topogénèse du côté des élèves.

Tout d'abord, nous avons remarqué que la forme de communication de type dialogique et interactive était associée à une topogénèse du côté des élèves. En effet, 77% des épisodes dialogiques (10 épisodes sur les 13 de la séance) sont associés à une topogénèse sous la

responsabilité des élèves et 32% des épisodes de « topogénèse élève » ont une forme de communication dialogique (10 épisodes sur les 31 de la séance).

Les épisodes dialogiques situées au début de séance (thème 1 : le changement climatique) et au thème 11 (les conséquences du changement climatique) sont de même nature. Il s'agit d'un dialogisme où les savoirs scientifiques n'interviennent pas, mais dont la fonction est de laisser aux élèves la liberté d'exprimer leurs points de vue.

Par exemple, le jeu n°2 du thème 1 a pour objectif d'associer des mots à « changement climatique ». Les élèves ont alors la liberté d'exprimer des points de vue, sans qu'aucun cadre de référence ne soit imposé, ce qui conduit à des expressions écrites du type suivant (image du tableau n°1-A₂) :

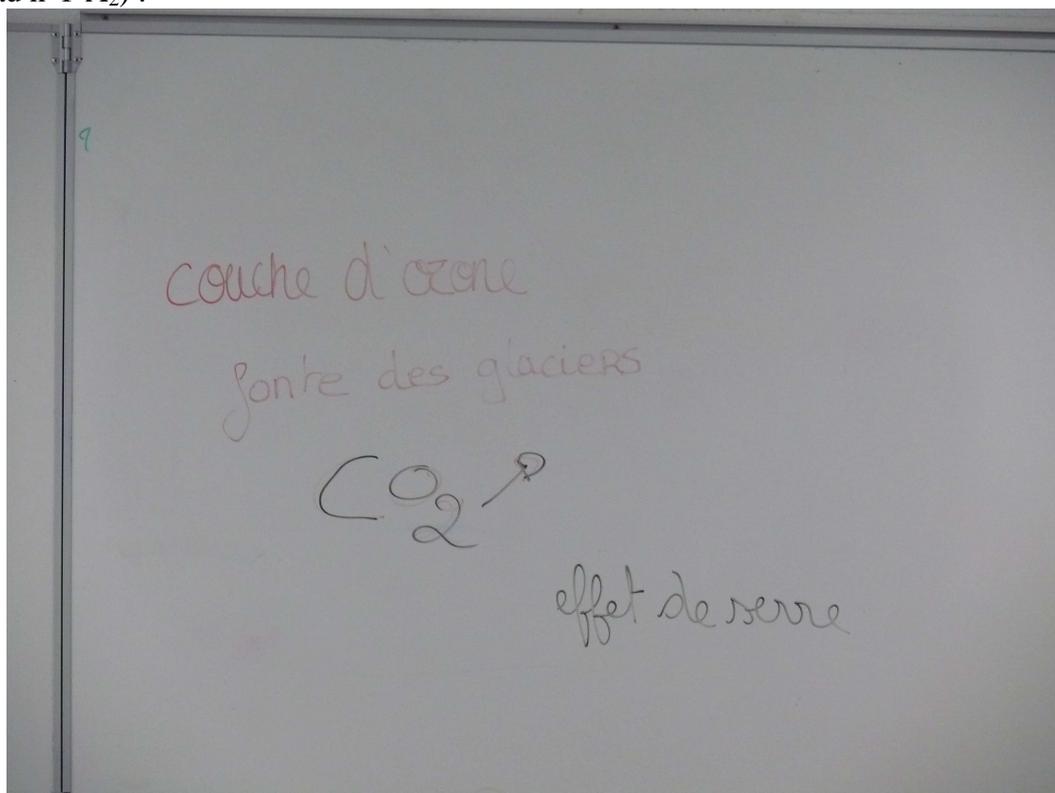


Image du tableau n°1-A₂

Nous renvoyons le lecteur au jeu n°2 du thème 11, décrit de manière systématique en annexes (annexes, pp. 146-148) ([T 885-892], annexes, pp. 202-203) pour un autre exemple de cette « topogénèse élève ».

Les épisodes dialogiques situés au thème 5 et au thème 9 sont d'un dialogisme différent : les élèves expriment des perspectives différentes mais complémentaires sur un même objet.

Nous prenons l'exemple ici de l'effet de serre où des points de vue contradictoires sont exprimés par les élèves, mais finalement ces points de vue se trouvent être complémentaires (jeu n°7 du thème 5, identifiable sur le graphique n°2-A₂ vers la minute 45).

Ce septième jeu consiste à répondre à la question « l'effet de serre est-il néfaste ? ». Ce jeu est une situation de type dialogique car deux perspectives sont publiquement affichées [T 371 et 373] :

371. Laura :	bah c'est pas néfaste parce que ça permet de d'avoir une température assez importante pour qu'on vive
(...)	
373. Maxime :	à l'inverse si l'effet de serre il est trop réussi c'est-à-dire s'il y a trop de rayons qui sont gardés ça va trop chauffer et puis on risque de mourir donc ça risque d'être néfaste pour nous

Les élèves mobilisent ici ce qui a été objet des jeux précédents : l'effet de serre est ce qui rend vivable la Terre [T 371] mais en même temps il consiste « à bloquer » les rayons lumineux donc il est possible qu'en se renforçant il empêche la Terre d'être vivable [T 373].

Les élèves jouent alors sur deux registres pour qualifier les conséquences de l'effet de serre [T 384-387] :

384. E :	mais si la quantité augmente l'effet de serre donc va augmenter et donc ça peut avoir des incidences sur quoi sur sur quoi
385. Mélissa :	nous
386. Maxime et Lorraine :	la température
387. E :	la température okay donc on verra ça après

Mélissa est sur le registre social : l'effet de serre a une incidence sur l'être humain alors que Maxime et Lorraine sont sur un registre davantage scientifique : l'effet de serre a une incidence sur une grandeur, la température. La topogénèse est ici sous la responsabilité des élèves et ce sont eux qui développent leurs points de vue.

Nous renvoyons le lecteur à l'analyse que nous faisons des jeux n°2 et 4 du thème 9 (l'évolution passée de la température moyenne) dans la partie annexe de cette thèse (pp. 143-146) pour des exemples supplémentaires de formes dialogiques de communication et de topogénèse élève ([T 612-626], annexes, pp. 189-190 et [T 646-673], annexes, pp. 191-192).

La topogénèse est également sous la responsabilité des élèves quand les savoirs en jeu sont des savoirs vus dans des séances antérieures, sans que la forme de communication soit dialogique.

C'est par exemple le cas du jeu n°2 du thème 4 (le rôle de l'hydrosphère). Ce jeu porte en effet sur la description de la dynamique des flux que sont les courants marins et, si l'objet d'étude est nouveau pour les élèves, aucun nouveau savoir de physique n'est introduit [T 232-244] :

232. E :	(...) très bien donc des courants qu'on appelle surfaciques tout à fait et des courants plus profonds les courants surfaciques qu'est-ce qui permet de les mettre en mouvement entre guillemets
233. Lorraine et Adrien :	le vent
234. E :	donc c'est le vent tout à fait et les courants de profondeur alors
235. Corentin :	la chaleur
236. Guillaume :	la température
237. Camille :	bah les variations
238. E :	la
239. Camille :	bah la variation de l'eau chaude avec l'eau froide
240. E :	oui tout à fait donc qui est liée à quoi variation de
241. Corentin :	XXXXXX
242. Camille :	température
243. Adrien :	densité
244. E :	température et donc de densité exactement

Fournir des explications sur les courants relève ici du topos « élève ». Les savoirs scientifiques sont ici utilisés par les élèves pour rendre compte de la dynamique des courants marins : la mise en mouvement des courants profonds est justifiée par les différences de température et implicitement par l'association densité – température. L'explication par la densité est alors d'une rationalité plus forte que l'explication par la seule température car il y a un concept de plus dans la chaîne du raisonnement et implicitement cela fait appel à la convection. Ces savoirs sont dans ce cas des outils langagiers permettant de donner une rationalité aux phénomènes naturels. L'enseignant s'assure que cette rationalité est satisfaisante pour permettre une explication du phénomène, sans qu'un savoir de physique inconnu des élèves ne soit introduit. L'énoncé produit qui est institutionnalisé est alors empirique : « il existe des courants surfaciques et des courants plus profonds » [T 244].

Dans ce cas, ce ne sont pas des savoirs nouveaux qui sont l'enjeu du jeu joué et c'est le degré de rationalité de l'explication fournie par les élèves qui est estimée par l'enseignant et qui fixe la référence de l'autorativité de la forme de communication.

Nous renvoyons le lecteur à la partie annexe de cette thèse pour davantage d'exemples de « topogénèse élève » de ce type (jeu n°2 du thème 6 [T 431-440], p. 180 ; jeu n°2 du thème 8 [T 520-533], pp. 184-185).

12.2.1.4 Une topogénèse mixte quand les savoirs ou leurs applications font l'objet d'une construction conjointe, majoritairement dans une forme de communication interactive et autoritative

Une topogénèse mixte est mise en œuvre quand l'enseignant cherche à ce que les élèves participent à la construction du savoir à institutionnaliser.

Nous illustrons cette manière de faire par une analyse du jeu n°1 du thème 5 (le rôle de l'atmosphère).

Après avoir vu le rôle du soleil et des océans sur le climat, les élèves doivent identifier un autre paramètre influençant le climat. Ce jeu est joué par un seul élève en interaction avec l'enseignant :

247. E :	(...) (27 :44) quel qu'est-ce qu'il y a comme autres causes sur le climat donc on a l'océan qui joue un rôle fondamental qu'est-ce qu'il peut y avoir d'autre (27 :52) oui Corentin
248. Corentin :	les gaz
249. E :	les gaz c'est-à-dire
250. Corentin :	ben le CO ₂ par exemple
251. E :	<i>alors oui ils vont avoir une incidence où ça en fait</i>
252. Corentin :	sur la température
253. E :	sur la température alors <i>via quel phénomène</i> quel
254. Corentin :	bah l'effet de serre
255. E :	donc l'effet de serre et l'effet de serre <i>ça se situe où</i> dans l'eau
256. Corentin :	dans l'atmosphère
257. E :	dans l'atmosphère donc très bien (28 :12) il y a aussi le rôle de l'atmosphère donc on va voir à quoi ça correspond

La topogénèse est mixte car enseignant et élève apportent des éléments au milieu. La chronogénèse s'accélère au cours du jeu au fur et à mesure qu'on s'oriente vers son issue. L'échange est conduit suivant le vœu de l'enseignant : il assure la transition vers l'étude de l'atmosphère. C'est alors l'enseignant qui apporte au milieu tous les éléments logiques, notamment les liens de causalité (« avoir une incidence » [T 251], « via » [T 253]) et la nature des précisions à fournir (« où ça » [T 251], « ça se situe où » [T 255]). Autrement dit, l'enseignant assure les connections logiques du raisonnement de manière autoritative et l'élève apporte les énoncés empiriques qui permettent de faire évoluer le milieu.

L'enseignant prend donc à sa charge une partie du travail cognitif des élèves : établir des liens causaux entre les éléments du milieu, de manière à construire une explication des phénomènes, en accord avec l'institutionnalisation à venir. C'est le savoir savant qui fixe la référence de l'aspect autoritative de la forme de communication dans ce cas.

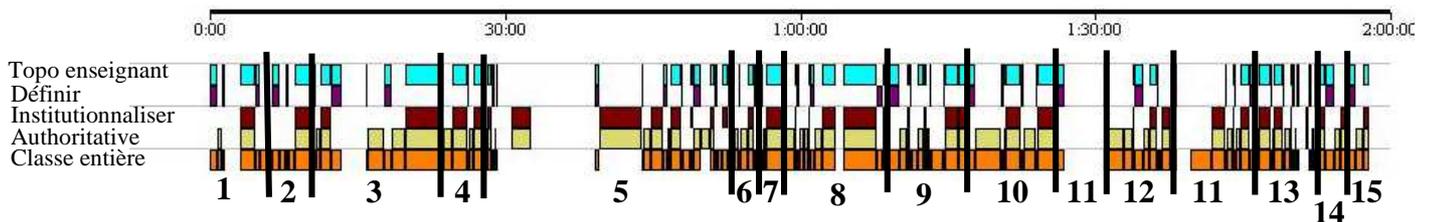
Nous renvoyons le lecteur au jeu n°2 du thème 3 [T 149-179] et au jeu n°5 du thème 5 [T 294-323] (annexes, respectivement pp. 166-167 et pp. 173-175) pour davantage d'exemples de cette forme de topogénèse.

La topogénèse mixte a alors comme propriété la participation des élèves au milieu et c'est l'enseignant A qui prend en charge la validation des différentes étapes du raisonnement.

12.2.1.5 Une topogénèse du côté de l'enseignant dans les épisodes de définition des jeux et d'institutionnalisation des savoirs

Nous avons remarqué sur le graphique n°1-A₂ que la topogénèse est majoritairement du côté de l'enseignant, et sur le graphique n°2-A₂ que la forme de communication privilégiée est le couple autoritative / interactif (60% des épisodes codés)¹¹⁸ et l'organisation sociale de la classe est essentiellement en classe entière (93.5% des épisodes de la séance). Les épisodes où la topogénèse est sous la responsabilité de l'enseignant concernent principalement des épisodes de définition et d'institutionnalisation.

C'est ce que montre l'évolution des descripteurs du graphique n°3-A₂ :



Graphique n°3-A₂ : Évolution des descripteurs « définir », « institutionnaliser », « autoritative » et « en classe entière » associés à la topogénèse du côté de l'enseignant

Nous observons en effet sur le graphique n°3-A₂ que les épisodes où la topogénèse est du côté de l'enseignant sont toujours des épisodes soit de définition, soit d'institutionnalisation.

12.2.1.6 Caractéristiques de la topogénèse de la séance A₂ : conclusions

En conclusion :

- dans les épisodes où les élèves ont la responsabilité de la topogénèse, l'organisation sociale de la classe n'est généralement pas « en classe entière ». Quand la forme de communication est dialogique, les nouveaux savoirs ne sont alors pas des enjeux des jeux d'apprentissage ou bien ce sont des perspectives complémentaires qui sont explicitées, et quand la forme de communication est autoritative, la référence est l'évaluation par l'enseignant du degré de rationalité de l'explication fournie par les élèves ;
- quand la topogénèse est mixte, la forme de communication est le plus souvent autoritative : la référence est alors celle des savoirs scientifiques à institutionnaliser ;
- la topogénèse est majoritairement sous la responsabilité de l'enseignant dans cette séance : la forme de communication est également le plus souvent autoritative et l'organisation sociale de la classe est la classe entière. Ce sont principalement les épisodes de définition des jeux et d'institutionnalisation des savoirs qui sont sous la responsabilité de l'enseignant.

¹¹⁸ 47 épisodes sur les 79 épisodes où il y a des formes autoritative ou dialogique de communication.

12.2.2 Une mésogénèse interactive, essentiellement entre l'enseignant et les élèves, dans laquelle de nombreux savoirs sont institutionnalisés à partir des propositions des élèves

Comme dans l'analyse A₁, nous abordons ici la mésogénèse du point de vue des techniques que l'enseignant utilise pour faire évoluer le milieu. Nous aborderons en 12.3 la mésogénèse du point de vue des savoirs qui constitue le milieu didactique (voir p. 235).

Nous caractérisons donc dans cette partie la mésogénèse à travers les gestes mésogénétiques de l'enseignant qui portent sur la gestion des interactions avec les élèves (12.2.2.1), les techniques didactiques préférées (12.2.2.2), la manière de réguler le milieu (12.2.2.3), de le stabiliser (12.2.2.4) et dévoluer les jeux d'apprentissage (12.2.2.5).

Nous synthétisons finalement les caractéristiques de la mésogénèse de la séance A₂, du point de vue de sa gestion par l'enseignant (12.2.2.6).

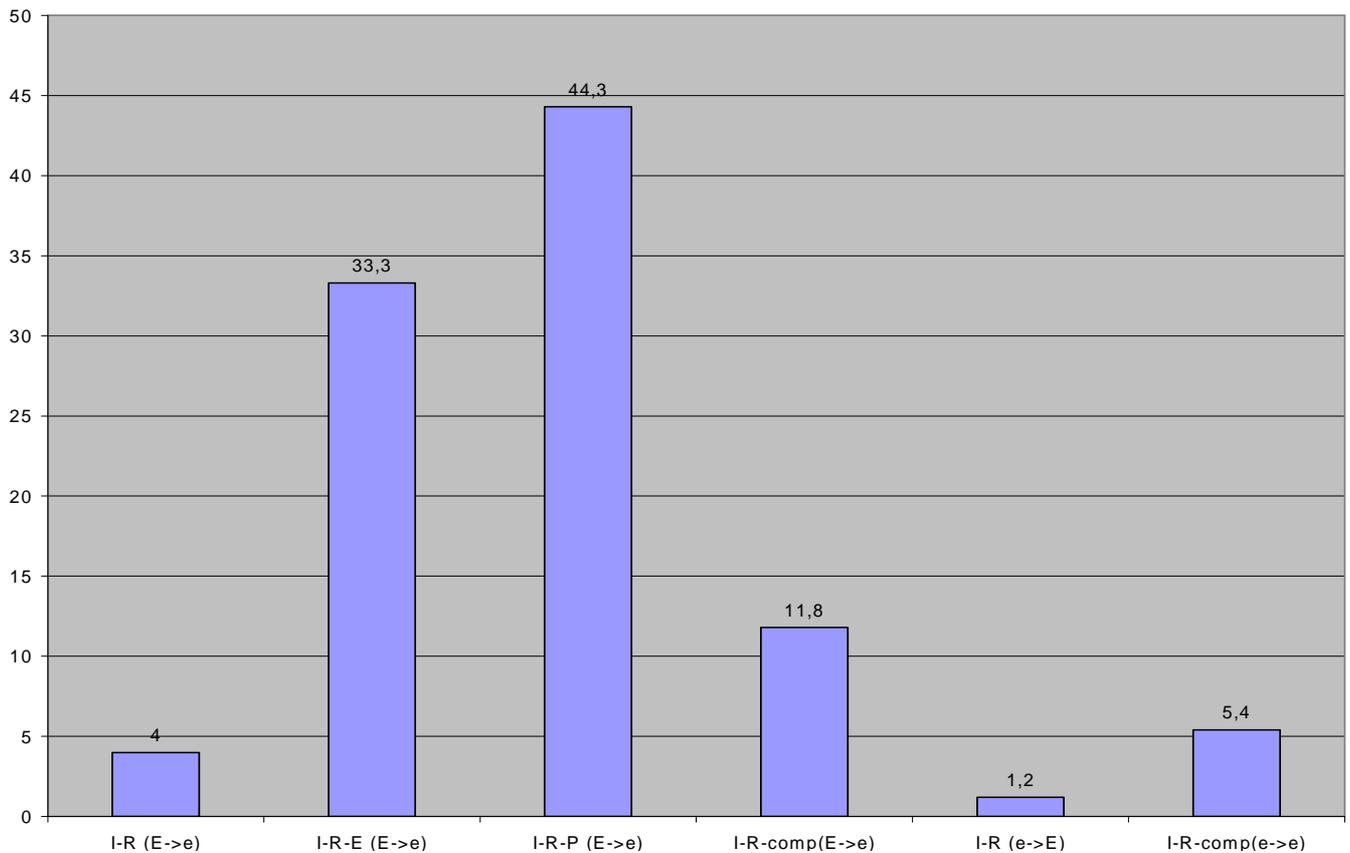
12.2.2.1 Les types d'interaction majoritairement à l'initiative de l'enseignant et entre l'enseignant et les élèves

On analyse la mésogénèse ici en décrivant les types d'interaction qui ont lieu lors de la séance, et les principaux gestes mésogénétiques qu'a l'enseignant.

Les formes de communication sont principalement interactives (66.5% du temps de la séance) dans la séance A₂.

Les types¹¹⁹ que prennent les interactions sont de plus multiples (graphique n°4-A₂) :

¹¹⁹ Nous renvoyons le lecteur au chapitre 10 pour consulter le sens des abréviations utilisées (voir 10.3.4.2.5, p. 148)



Graphique n°4-A₂ : Répartition (en % du temps d'interaction) des types d'interaction lors de la séance A₂

Les formes privilégiées par l'enseignant A sont de type :

- I-R-P (E→e) : 44.3%, pour lesquelles l'enseignant essaie d'approfondir les réponses des élèves ;
- I-R-E (E→e) : 33.3%, pour lesquelles l'enseignant évalue les réponses proposées par les élèves ;

Les réponses des élèves, souvent courtes, peuvent satisfaire l'enseignant et dans ce cas une interaction de type I-R-E suffit à faire avancer le savoir.

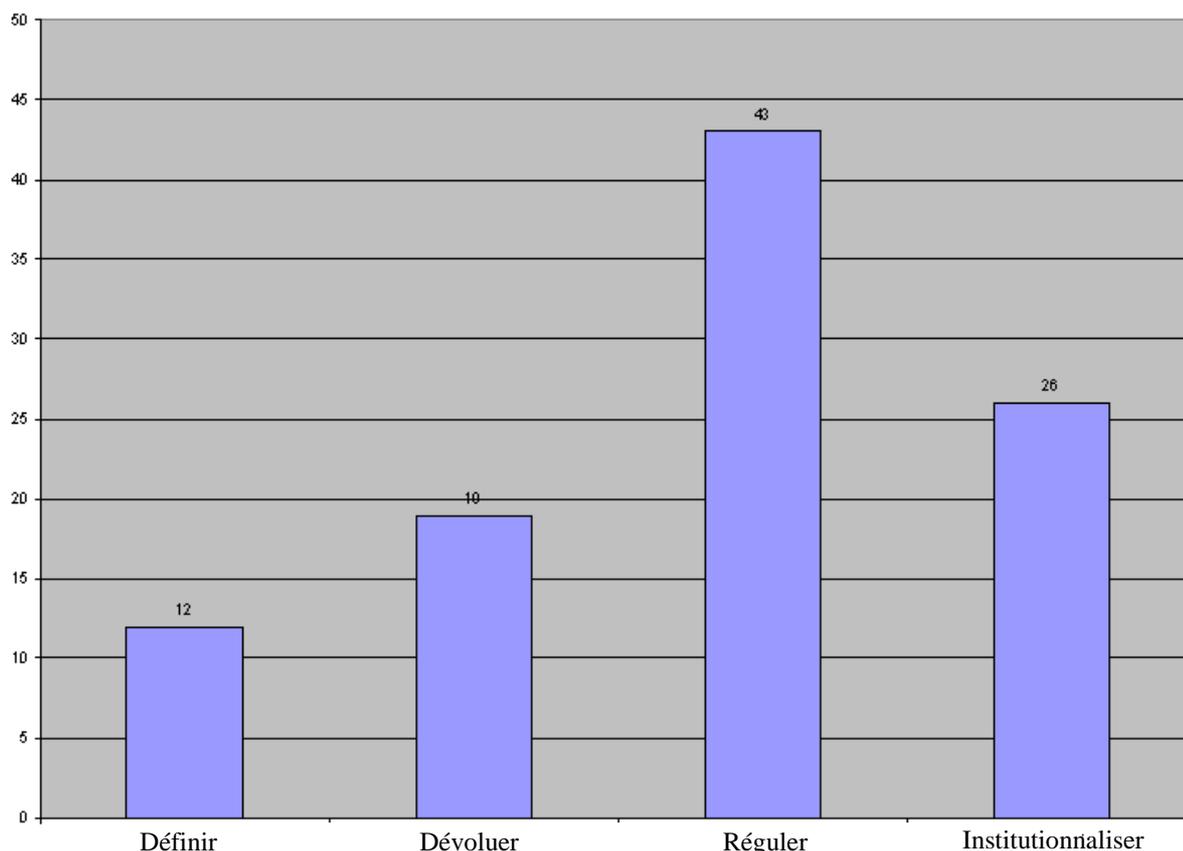
Toutefois, quand la question de l'enseignant porte sur une explication à donner, les réponses courtes des élèves justifient une action de l'enseignant pour faire développer et préciser les réponses. Dans ce cas, c'est une interaction de type I-R-P qui se met en place (par exemple, voir [T 248-257], annexes p. 171, sur l'explication du rôle de l'atmosphère dans le climat, ou bien [T 441-455] sur l'explication de l'impact de la biosphère sur le climat, annexes, p. 181).

Nous remarquons de plus sur ce graphique que les interactions sont très majoritairement initiées par l'enseignant : c'est donc lui qui contrôle précisément l'évolution du milieu.

En outre, on remarque que l'enseignant intervient dans la majorité des interactions puisque seuls 5.4% des interactions se font entre élèves. On peut relier la place prédominante de l'enseignant dans les interactions avec la place importante qu'il occupe dans la topogénèse (voir 12.2.1).

12.2.2.2 Les techniques didactiques « réguler » et « institutionnaliser » prédominent dans la gestion de la mésogénèse par l'enseignant

Le graphique n°5-A₂ montre la répartition dans le temps des différentes techniques didactiques utilisées par l'enseignant :



Graphique n°5-A₂ : Répartition (en % du temps de la séance) des techniques didactiques lors de la séance A₂

Deux éléments nous semblent importants dans le graphique n°5-A₂ :

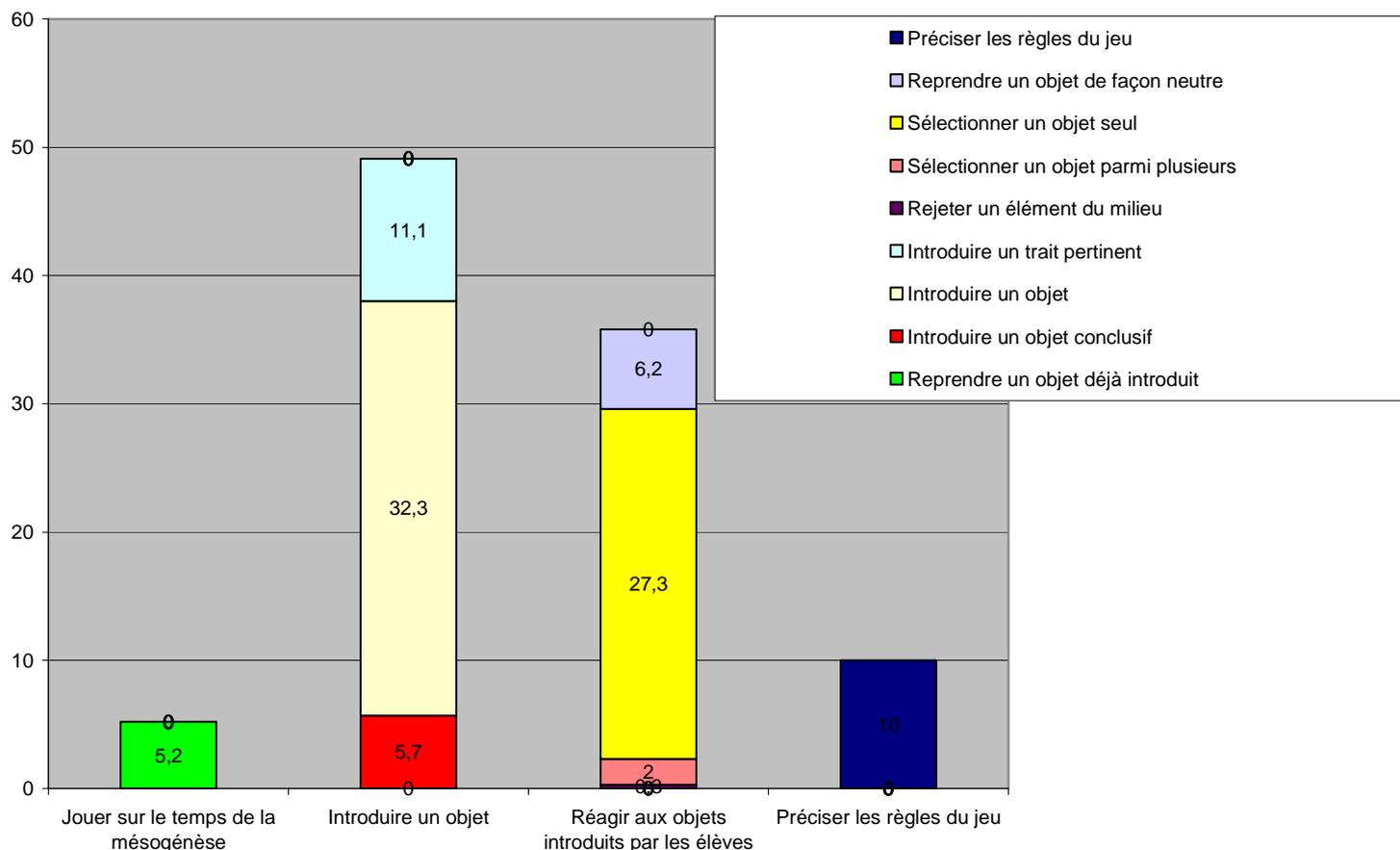
- la technique principale utilisée par l'enseignant est la régulation ;
- l'institutionnalisation est également une technique très utilisée par l'enseignant ;

Nous analysons davantage plus précisément les techniques « réguler » (12.2.2.3), « institutionnaliser » (12.2.2.4) et dévoluer (12.2.2.5) dans les paragraphes qui viennent.

12.2.2.3 L'enseignant régule le jeu en apportant des éléments

L'enseignant A utilise une grande variété de techniques pour contrôler l'évolution du milieu. Les deux principales actions sur la mésogénèse sont d'introduire des objets dans le milieu et de réagir aux objets introduits par les élèves.

Le graphique n°6-A₂ montre la répartition des techniques de régulation utilisées par l'enseignant A lors de la séance A₂ :



On remarque que la technique principale utilisée par l'enseignant est d'introduire des objets dans le milieu. Ses réactions face aux propositions des élèves sont multiples mais l'enseignant régule surtout en reprenant un objet introduit isolément par les élèves.

On retrouve ici le poids topogénétique de l'enseignant dans la mésogénèse : on peut interpréter cette technique majoritaire par le fait que c'est l'enseignant qui crée les liens logiques dans cette séance, ce qui induit que les objets qu'introduisent les élèves sont précisément ceux attendus par l'enseignant.

Nous illustrons par l'extrait suivant la manière dont l'enseignant régule le milieu. Il est issu du jeu n°2 du thème 3 (préciser l'influence du soleil sur le climat), dont l'enjeu est la description d'un document sur le bilan radiatif de la Terre, [T 136-146] :

136. Romain :	bah plus la latitude est haute 45 60 90 plus il y aura une grande surface qui recevra de l'énergie
137. E :	d'accord donc <i>pour le même taux d'énergie</i> donc ça veut dire quoi aux pôles ou à l'équateur quelle est la différence en fait par exemple si on prend les deux extrêmes pôles ou équateur Corentin
138. Corentin :	c'est que l'équateur il recevra plus bah la même quantité d'énergie mais en un point bah
139. E :	oui sur enfin en un point <i>c'est-à-dire sur une toute petite surface</i>
140. Corentin :	sur une toute petite surface et puis sur le pôle comme c'est beaucoup incliné ce sera sur une grande surface
141. E :	oui sur une plus grande surface est-ce que ça cette constatation ça permet d'expliquer des différences climatiques majeures entre l'équateur et les pôles
142. E :	oui c'est-à-dire tu dis oui Lorraine

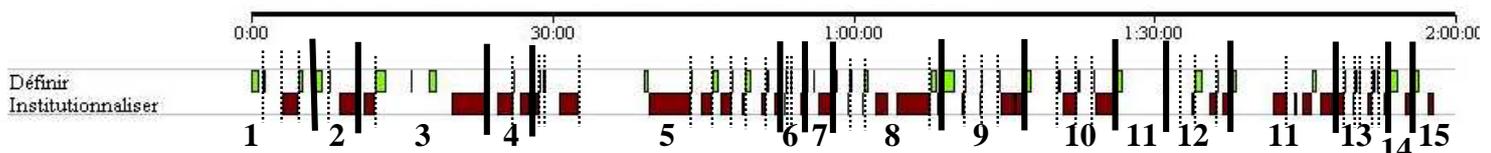
143. Lorraine :	ben parce que plus le point il sera enfin la chaleur elle sera <i>concentrée</i> plus ce sera chaud alors que vu qu'au pôle et ben c'est une longue distance ça chauffe moins
144. E :	oui c'est plus diluée plus diffusée entre guillemets ça chauffe moins tout à fait donc là il y a déjà une différence et cette différence elle est dû à quoi par rapport à la Terre donc ça paraît évident mais c'est du à quoi la Terre elle est
145. Lorraine :	elle est ronde
146. E :	elle est ronde elle est sphérique d'accord

Cet échange est assez représentatif de la manière dont l'enseignant A régule le milieu : celui-ci reprend chaque élément introduit par les élèves dans le milieu et les reformule de façon à ce que le milieu prenne la forme qui lui convienne : « énergie » [T 136] devient « même taux d'énergie » [T 137], « point » [T 138] devient « toute petite surface » [T 139], « rond » [T 146] devient « sphérique » [T 146]. Finalement, cette régulation conduit les élèves à introduire l'idée de concentration [T 143] et la concentration des rayons dépend de la forme sphérique de la Terre. Nous renvoyons le lecteur aux annexes relatives à la séance A₂ pour davantage d'exemples de régulation ([T 494-515], pp. 183-184 ; [T 626-634], p. 190).

12.2.2.4 De nombreux savoirs sont institutionnalisés

Nous avons vu (12.2.2.2, p. 227) qu'il y a beaucoup d'épisodes dans lesquels l'enseignant institutionnalise des savoirs.

Le graphique n°7 indique les épisodes qui donnent lieu à des définitions de jeux et à des institutionnalisations de savoirs :



Graphique n°7-A₂ : Evolution des techniques « définir » et « institutionnaliser » lors de la séance A₂

Nous remarquons sur le graphique n°7-A₂ que la plupart des jeux d'apprentissage joués donne lieu à une institutionnalisation (39 sur 51 jeux dans la séance, soit 76% des jeux), qui se matérialise à chaque fois par une trace écrite sur le cahier des élèves. Les savoirs institutionnalisés correspondent donc à chaque fois à ce qui va être écrit et sont tous différents : définition du climat, rôle du soleil, rôle de l'hydrosphère, rôle de l'atmosphère (effet de serre), l'analyse isotopique, l'augmentation de la température depuis la révolution industrielle, l'augmentation de la concentration en GES dans l'atmosphère, la modélisation climatique, la démarche scientifique sont par exemple successivement abordés et une conclusion est mise à l'écrit (la liste n'est pas exhaustive).

12.2.2.5 L'intégration des savoirs dans la mésogénèse : différentes modalités de dévolution

L'enseignant utilise dans la séance A₂ différentes modalités de dévolution, qui sont autant de rapports différents au temps dans la mésogénèse. Nous présentons ici ces modalités et l'interprétons par le souci qu'a l'enseignant d'intégrer les savoirs au delà de leur succession.

- Tout d'abord, un moment important dans le processus de dévolution des jeux est le moment où l'enseignant A définit un jeu d'apprentissage.

Nous précisons ce point en prenant un exemple issu du jeu n°1 du thème 2 sur la définition du climat [T 78] :

78. E :	<i>(6 :21) alors on va d'abord parler un peu du climat donc ce sera la première partie donc on va essayer de donner une définition au mot climat alors est-ce que quelqu'un pourrait essayer de manière assez simple de définir c'est quoi le climat en fait qu'est-ce que c'est par quels mots clés on peut le définir (7 :07)</i>
---------	---

L'enseignant définit ce jeu : il s'agit pour les élèves de définir le climat. Toutefois, en même temps qu'il définit l'enjeu, il réduit progressivement ses attentes. Il s'agit ainsi tout d'abord de « donner une définition », « d'essayer de manière assez simple de définir » puis de définir par des « mots clés ». Cette réduction progressive des attentes de l'enseignant constitue ainsi un moment important dans la dévolution du jeu joué (voir également dans les annexes : [T 129], p. 165, [T 515], p. 184, [T 736-739], p. 195, [T 772], p. 197).

- On observe également une incursion du temps futur et passé dans les techniques de dévolution utilisées par l'enseignant A.

Tout d'abord, l'enseignant A problématise la séance A₂ en mettant en perspective les séances passées sur l'énergie, lors du jeu n°3 du thème 1, [T 43] :

43. E :	<i>donc c'est un chapitre un peu à part en fait ça vient en fait en aboutissement de toutes les notions d'énergie depuis le début c'est comment un peu on peut voir toutes les notions d'énergie tout ce qu'on a vu par rapport à ce problème de changement climatique en fait donc il va s'intituler donc ce cours changement climatique (4 :39)</i>
---------	---

Ce chapitre « vient en aboutissement de toutes les notions d'énergie depuis le début » : il convoque donc les séances passées pour donner du sens à ce qui s'est fait, mais aussi à ce qui va se faire. Autrement dit, si l'enseignant problématise la séance par rapport à un savoir particulier (le changement climatique), il a le souci de problématiser cette séance au sein d'une progression conceptuelle qui dépasse la séance. On peut supposer que ces incursions du passé dans la séance est un acte dévolutif, permettant aux élèves de se positionner dans une histoire plus large que celle de la séance. Ce lien avec les séances passées, qui se retrouve par exemple dans le jeu n°3 du thème 8 quand la notion d'isotopes est développée ou bien quand une chaîne énergétique est construite (jeu n°4 du thème 13), est justifié par l'enseignant [Ante 50] :

50. E :	<i>(...) donc là j'ai pris l'exemple il y en avait plusieurs parce que ça me permettait de reprendre des notions qu'ils avaient déjà vues en seconde et après en première sur la notion d'isotopes et d'analyses isotopiques (...) donc c'est un exemple de comment on a pu mettre en évidence un climat</i>
---------	--

Il problématise également ce qui va venir et introduit déjà ce qui fera le cœur de la fin de la séance : les réponses que la science peut apporter au changement climatique [T 41] :

41. E :	<i>(...) donc le but de la séance ça va être de voir quels sont en fait les paramètres qui influent sur ce soit-disant ce qu'on entend changement climatique de quoi ça parle qu'est-ce qui est en jeu et en quoi la science peut apporter des réponses en fait à ces problèmes d'accord donc on va voir ça tout de suite donc vous pouvez prendre une feuille en fait donc ça va être un cours un peu différent on va parler du changement climatique et de ce qui a en jeu quand on parle de changement climatique d'accord donc vous prenez une feuille à part donc on va essayer du coup de parler de ce que vous avez mis comme mots-clés donc couche d'ozone on l'a évoquée fonte des glaciers CO₂ qui augmente et effet de serre donc on va en reparler au long de ce cours</i>
---------	---

Les premiers jeux de la séance servent à problématiser ce qui va suivre et en ce sens, c'est un groupe de jeux qui sert à dévoluer l'ensemble de la séance.

Ces différentes modalités de la dévolution ont en commun d'inscrire la mésogénèse dans un rapport au temps qui n'est pas forcément celui du jeu :

- une dévolution à l'échelle du jeu pour que les élèves s'y projettent ;

- une dévolution de jeux futurs, qui participe déjà à préparer la mésogénèse à venir ;
- une dévolution, qui intègre des jeux passés dans la mésogénèse présente ;

Nous interprétons ce rapport au temps de ces différentes modalités de dévolution comme participant à *l'intégration* des savoirs, indépendamment de l'enjeu de savoir proprement dit du jeu en cours. En effet, la problématisation, le rappel d'éléments passés dans d'autres séances sont autant de gestes qui permettent de donner un sens aux savoirs, hors des temps des jeux d'apprentissage dont ils sont spécifiquement l'objet.

12.2.2.6 Caractéristiques de la mésogénèse, vue des gestes de l'enseignant, de la séance A₂ : conclusions

Nous reprenons ici les principaux points de nos descriptions précédentes de la mésogénèse :

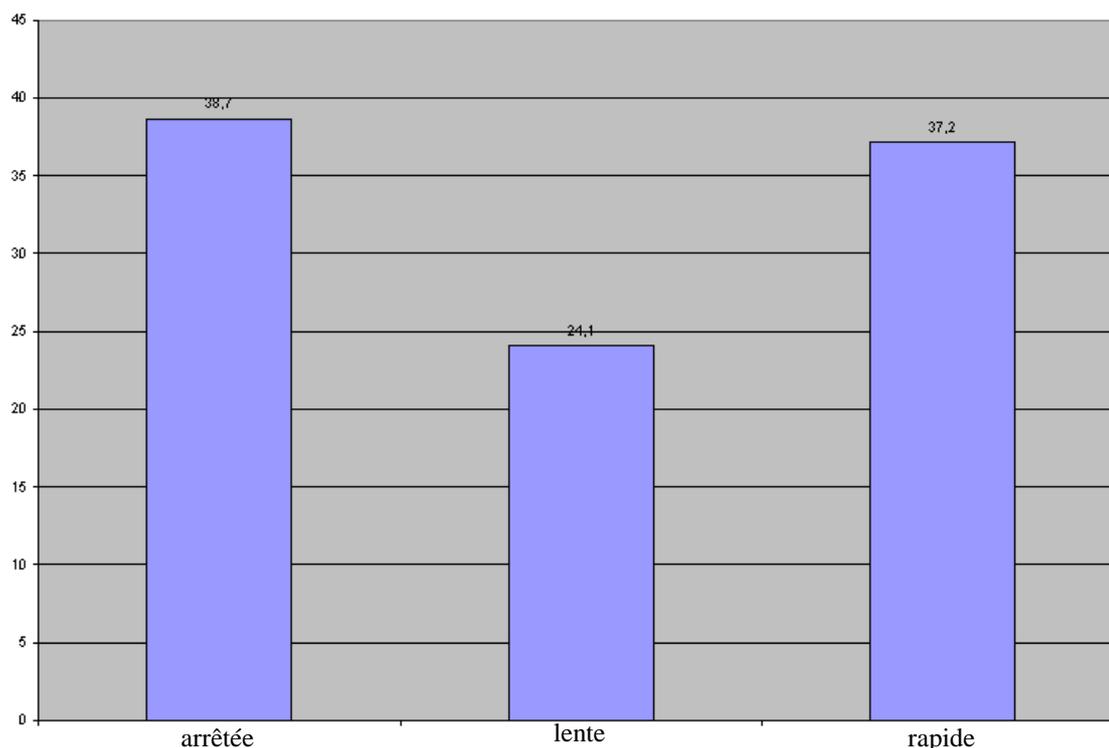
- les interactions sont majoritairement à l'initiative de l'enseignant et entre l'enseignant et les élèves ;
- ces interactions sont de type I-R-P et I-R-E et l'enseignant régule le milieu de façon à raccourcir les échanges ;
- de nombreux et différents savoirs sont institutionnalisés ;
- l'intégration des savoirs se fait par différentes modalités de dévolution, à l'intérieur des jeux d'apprentissage, mais aussi à l'échelle d'une succession de jeux.

12.2.3 Une chronogénèse « additive » d'énoncés majoritairement empiriques

Nous abordons dans cette partie la chronogénèse en tant qu'elle est un descripteur de l'évolution du milieu et nous décrivons tout d'abord la manière dont les savoirs sont institutionnalisés (12.2.3.1), puis l'évolution au cours de la séance des types d'énoncés qui sont institutionnalisés (12.2.3.2).

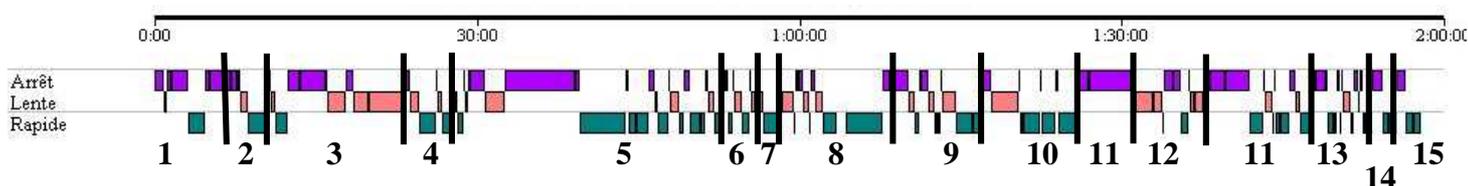
12.2.3.1 Une succession de jeux rapidement joués, à chronogénèse accélérée

Le graphique n°8-A₂ montre la répartition (en % du temps de la séance) des différentes modalités de la chronogénèse.



Graphique n°8-A₂ : Répartition (en % du temps de la séance) de la chronogénèse lors de la séance A₂

On remarque ainsi que la chronogénèse est autant arrêtée (38.7%) que rapide (37.2%). Nous pouvons préciser cette répartition en nous intéressant à l'évolution des descripteurs liés à la chronogénèse lors de cette séance : c'est ce que montre le graphique n°9-A₂ :



Graphique n°9-A₂ : Evolution de la chronogénèse lors de la séance A₂

Nous observons alors que :

- les parties où la chronogénèse est arrêtée sur une durée importante (début de la séance – thème 1, à partir de la minute 30 – thème 5, à 1h 25 minutes – thème 11) correspondent à des travaux sur documents ou à un travail de groupe : c'est donc la nature des tâches proposées aux élèves qui fait que la chronogénèse est arrêtée ;
- hormis ces parties, la séance est le plus souvent composée d'une succession de jeux dans lesquels la chronogénèse est « arrêtée », « lente » et « rapide » : nous pouvons donc décrire la chronogénèse comme une succession de jeux, à chronogénèse accélérée¹²⁰ ;
- une concentration de jeux joués rapidement : il s'agit de la fin du thème 5 (l'effet de serre), et des thèmes 6 à 10 (qui concernent l'étude de la biosphère, de la cryosphère et des preuves du changement climatique).

Nous qualifions la chronogénèse d'« additive » pour décrire la succession des jeux dont les enjeux sont indépendants les uns des autres.

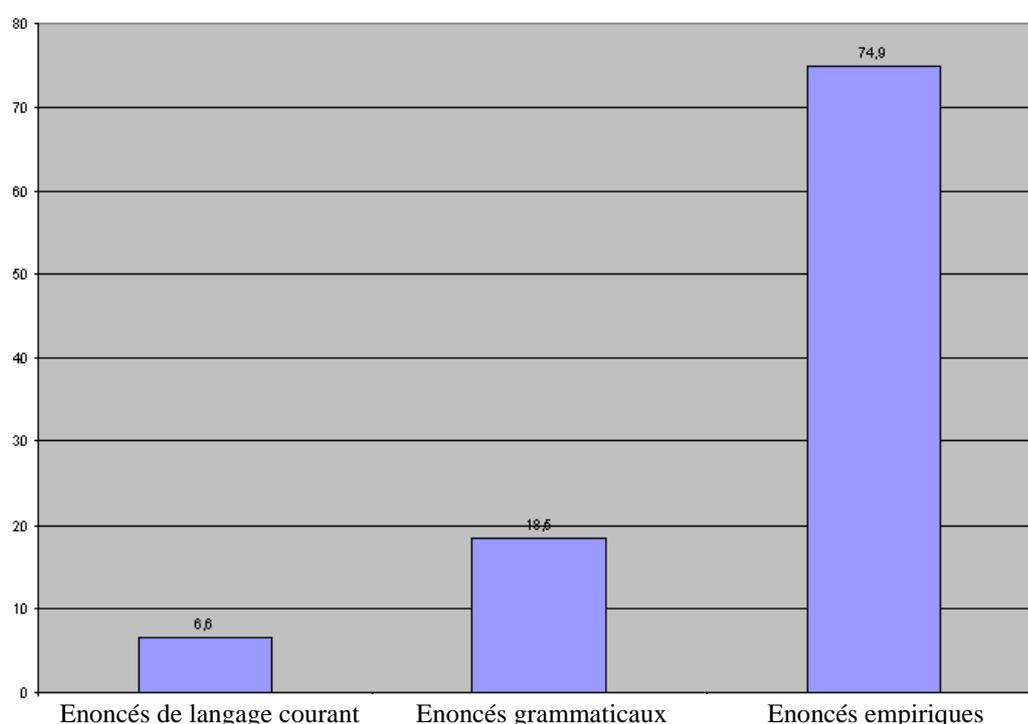
¹²⁰ Dans le sens de la mécanique : la vitesse augmente de plus en plus dans le jeu.

12.2.3.2 Un enseignement d'énoncés majoritairement de type empirique

Nous avons catégorisé les types d'énoncés qui caractérisent l'enjeu des jeux joués :

- des énoncés de langage courant : l'enjeu du jeu se fonde dans ce cas sur l'émergence d'énoncés dits dans le langage courant ;
- des énoncés grammaticaux : l'enjeu du jeu est de construire des savoirs de type conceptuel. Ce sont des éléments langagiers (des énoncés) qui permettent de décrire scientifiquement des phénomènes empiriques ;
- des énoncés empiriques : ce sont des coups dans les jeux de langage qui permettent essentiellement de produire des descriptions de phénomènes.

Nous rendons compte dans le graphique n°10-A₂ de la répartition des types d'énoncés qui sont l'objet de l'enseignement / apprentissage lors de la séance A₂ :

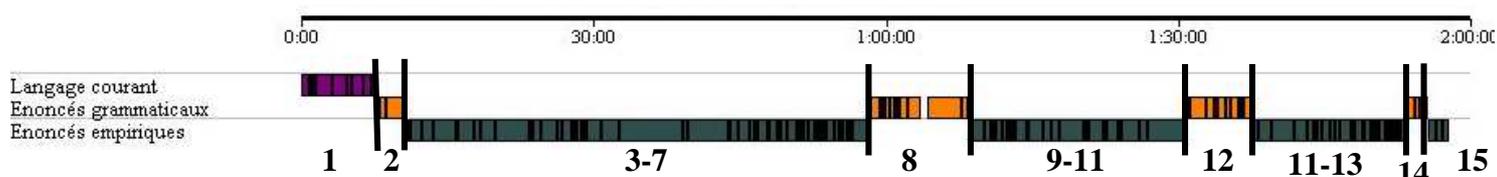


Graphique n°10-A₂ : Répartition (en % du temps de la séance) des types d'énoncés lors de la séance A₂

Nous observons donc à partir du graphique n°10-A₂ que les énoncés scientifiques majoritaires sont dans cette séance de type empirique.

Nous analysons ultérieurement (voir 12.3, p. 235) la nature et la fonction jouée par ces différents types d'énoncés.

Le graphique n°11-A₂ indique l'évolution dans la séance de ces descripteurs :



Graphique n°11-A₂ : Evolution des types d'énoncés lors de la séance A₂

On remarque sur le graphique n°11-A₂ que le début de la séance se caractérise par la construction d'énoncés de langage courant : il s'agit du thème 1, dont la fonction est de dévoluer les jeux suivants (voir 12.2.2.5, p. 229).

On observe que de nombreux épisodes sont issus de jeux dont l'enjeu est la construction d'énoncés empiriques (thèmes 3 à 7). Il s'agit alors de jeux liés à l'étude du fonctionnement du climat, qui occupent près de la moitié de la séance, en un seul bloc. Le thème 5 sur l'atmosphère (étude de l'effet de serre) occupe à lui seul 21% du temps de la séance.

On observe à partir de 1h une alternance de jeux à énoncés empiriques et grammaticaux. Les énoncés grammaticaux concernent alors des savoirs sur la nature de la science, alors que les énoncés empiriques concernent le changement climatique. Nous détaillons plus précisément la nature de ces énoncés dans la partie 12.3 (voir p. 235).

12.2.3.3 Caractéristiques de la chronogénèse de la séance A₂ : conclusions

Nous résumons ici les principales caractéristiques de la chronogénèse pour la séance A₂ :

- la séance est constituée d'une succession de jeux à chronogénèse accélérée ;
- les énoncés empiriques sont majoritaires ;
- quand il est question de changement climatique, les jeux dont les enjeux sont des énoncés grammaticaux alternent avec des jeux dont les enjeux sont des énoncés empiriques ; les énoncés grammaticaux portent alors sur la nature de la science ;
- les énoncés de langage courant sont en début de séance.

12.2.4 Conclusions

Une topogénèse majoritairement sous la responsabilité de l'enseignant

La topogénèse est principalement sous la responsabilité de l'enseignant dans cette séance et est associée majoritairement à une forme autoritative de communication et à une organisation sociale « en classe entière ». Le début de séance a une topogénèse sous la responsabilité des élèves avec une forme dialogique de communication. On peut interpréter le début de séance comme une dévolution des jeux à venir, dont l'enjeu principal concerne des énoncés de type empirique.

Une mésogénèse interactive : l'enseignant alimente l'interaction en introduisant des éléments dans le milieu et en réagissant aux réponses des élèves

La quasi-totalité des échanges se fait de plus entre l'enseignant et les élèves (94.6%), plutôt qu'entre les élèves (5.4%). L'enseignant a donc un rôle central puisque la majorité des échanges passe par lui et qu'en plus l'organisation de la classe fait qu'il est « sur scène ». Les élèves ont alors la responsabilité du milieu quand l'enjeu des jeux est de « faire émerger » leurs représentations, il ne s'agit donc pas de nouveaux savoirs.

La séance A₂ est principalement interactive (66.5% du temps de la séance). Toutefois, c'est l'enseignant qui contrôle l'évolution du milieu en initiant la plupart des interactions et en introduisant majoritairement des éléments dans le milieu. L'enseignant laisse ainsi vivre majoritairement les éléments du milieu qui correspondent au point de vue institutionnel du savoir à enseigner ou bien à ce qu'il estime être une explication suffisamment rationnelle par

rapport à ses attentes (la production d'énoncés empiriques). Les formes d'interaction sont alors entre l'enseignant et un élève particulier, de type I-R-E (donc courtes) ou I-R-P jusqu'à ce qu'un élève donne la réponse attendue.

Une chronogénèse « additive » de jeux à chronogénèse accélérée, dont les enjeux sont majoritairement des énoncés de type empirique

La séance A₂ est composée d'une succession de jeux à chronogénèse accélérée, dont le contenu est indépendant les uns les autres, puisque chaque institutionnalisation donne lieu à une trace écrite. Toutefois, l'enseignant intègre anciens et nouveaux savoirs en jouant sur des échelles de temps de la dévolution. En effet, il assure la continuité des savoirs au-delà de leur succession, puisque certains jeux préparent les jeux à venir et reprennent des savoirs déjà vus antérieurement. Autrement dit, l'enseignant A conçoit l'enseignement d'une séance discrète dans un spectre continu qui dépasse le cadre temporel d'une séance.

De nombreux savoirs sont institutionnalisés et ils relèvent majoritairement d'énoncés empiriques dans cette séance. On observe de plus qu'il y a alternance entre des phases où ce sont des énoncés grammaticaux qui sont l'enjeu de l'action conjointe et d'autres phases où les énoncés empiriques sont premiers quand le savoir en jeu est lié au changement climatique.

12.3 La nature des savoirs enseignés

Nous complétons l'analyse précédente en analysant les jeux de langage qui sont joués lors de la séance A₂. Il s'agit alors d'affiner la description de :

- la mésogénèse, en nous intéressant à l'évolution du milieu, du point de vue des savoirs qui le constituent ;
- la chronogénèse, en analysant les savoirs suivant les types d'énoncés.

Nous structurons notre analyse en spécifiant la nature et la fonction des différents types d'énoncés. Nous étudierons donc successivement :

- les énoncés de langage courant (12.3.1) ;
- les énoncés grammaticaux (12.3.2) ;
- les énoncés empiriques qui sont de 2 types, suivant qu'ils portent sur le fonctionnement du climat (12.3.3) ou sur le changement climatique (12.3.4).

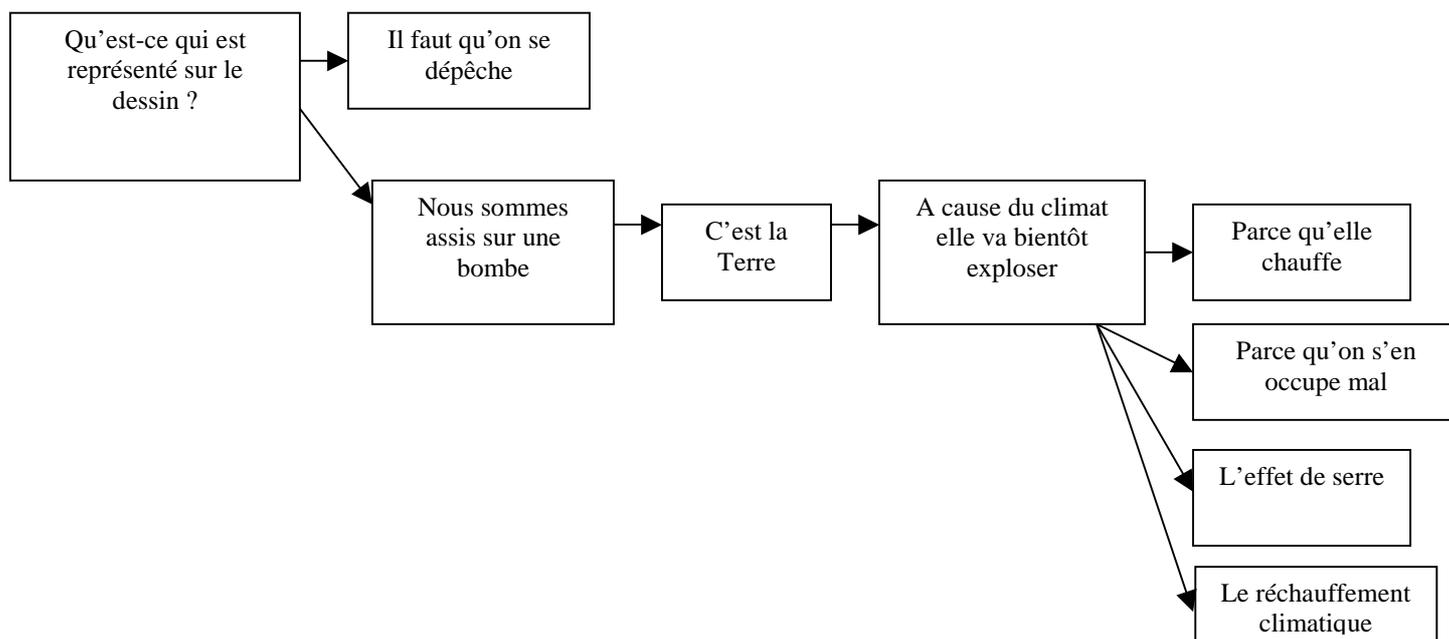
12.3.1 Des énoncés de langage courant pour problématiser

Nous avons vu que les énoncés de langage courant sont présents en début de séance (voir 12.2.3.2, p. 233) et que ces premiers jeux servent à dévoluer les jeux suivants (voir 12.2.2.5, p. 229). Nous analysons ici les jeux de langage du thème 1 (le problème du changement climatique) pour affiner notre compréhension de l'action conjointe.

Dans le premier jeu, l'enseignant commence la séance en présentant aux élèves un dessin de presse :



D'un point de vue mésogénétique, nous schématisons ainsi l'enchaînement de la description que font les élèves du dessin :



Deux éléments sont tout d'abord introduits par les élèves dans le milieu, qui correspondent aux deux éléments essentiels de l'image : l'idée de la bombe et l'idée de l'urgence. Toutefois, l'enseignant ne rebondit que sur l'élément « bombe », ce qui conditionne la suite des échanges. La bombe est la Terre, elle va exploser à cause du climat. Deux causes différentes sont alors introduites par les élèves : l'explosion est causée par un réchauffement du climat (« elle chauffe »), l'effet de ce réchauffement est même énoncé (l'effet de serre) ; l'explosion est causée par les hommes (« parce qu'on s'en occupe mal »).

C'est ici une position autoritative qui est construite car l'enseignant arrête le jeu quand un élève prononce l'expression « réchauffement climatique ». C'est donc que l'association entre le dessin et le réchauffement climatique était l'enjeu du jeu. Toutefois, la discussion des êtres humains « essayons d'aller vite », qui représente la dimension politique de la controverse du changement climatique, n'est abordée qu'au tout début du jeu par une élève mais n'est pas retenue par l'enseignant. Bien mieux, une association est déjà faite sur les éléments qui vont par la suite structurer la séance : réchauffement climatique, effet de serre, hausse de la température et responsabilité de l'homme. Ce qui intéressait l'enseignant dans cette image était l'image d'une planète sur le point d'exploser [Ante 12], afin de « marquer les esprits » :

12. E : (...) oui voila c'est un moyen d'y aller de manière un peu détournée entre guillemets pourquoi l'histoire d'une bombe qui va exploser *ça peut marquer pourquoi on dit ça*

Le deuxième jeu consiste pour les élèves à associer des mots à « réchauffement climatique » en les écrivant au tableau (Image du tableau n°2-A₂) :

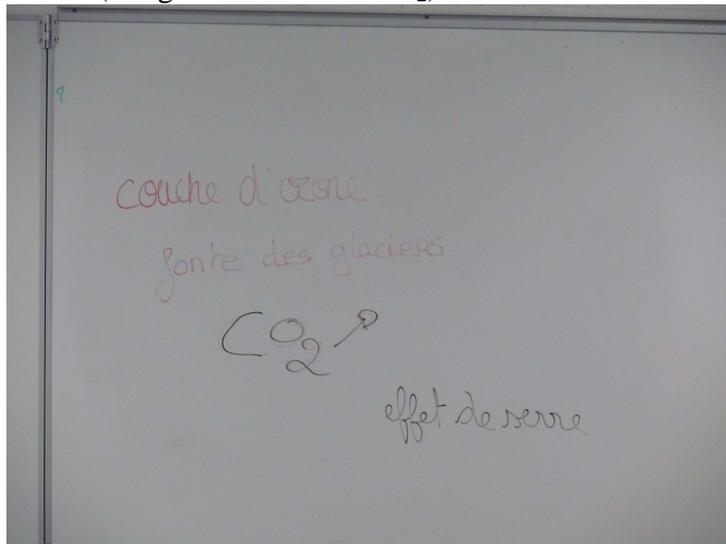


Image du tableau n°2-A₂

Les mots écrits par les élèves sont donc :

- couche d'ozone, qui relève d'un objet « climatique » ;
- fonte des glaciers, qui est liée de l'évolution du climat ;
- augmentation du CO₂ est également liée à l'évolution du climat ;
- effet de serre, qui est un mécanisme de régulation du climat ;

Les mots ne sont ensuite pas discutés.

L'enseignant problématise alors dans le 3^{ème} jeu ce qui va être l'objet de la séance :

41. E :	(...) donc le but de la séance ça va être <i>de voir quels sont en fait les paramètres qui influent sur ce soit-disant ce qu'on entend changement climatique de quoi ça parle qu'est-ce qui est en jeu et en quoi la science peut apporter des réponses en fait à ces problèmes</i> d'accord donc on va voir ça tout de suite donc vous pouvez prendre une feuille en fait donc ça va être un cours un peu différent on va parler du changement climatique et de ce qui a en jeu quand on parle de changement climatique d'accord donc vous prenez une feuille à part donc on va essayer du coup de parler de ce que vous avez mis comme mots-clés donc couche d'ozone on l'a évoqué fonte des glaciers CO ₂ qui augmente et effet de serre donc on va en reparler au long de ce cours
42. Romain :	c'est de la chimie ?
43. E :	donc <i>c'est un chapitre un peu à part en fait ça vient en fait en aboutissement de toutes les notions d'énergie depuis le début c'est comment un peu on peut voir toutes les notions d'énergie tout ce qu'on a vu par rapport à ce problème de changement climatique en fait donc il va s'intituler donc ce cours <i>changement climatique</i> (4 :39)</i>

Nous remarquons tout d'abord, le changement climatique est qualifié de « ce soi-disant », « ce qu'on entend ». C'est donc le caractère médiatique et controversé du changement climatique qui est ici convoqué dès la présentation de la séance.

L'objet de la séance est « de voir quels sont en fait les paramètres qui influent (...), de quoi ça parle qu'est-ce qui est en jeu » dans le changement climatique. Il y a ici l'idée que la physique va permettre de construire un discours (« dire », « ça parle ») explicatif sur ce changement. L'enseignement de la physique va alors consister à faire émerger ce discours explicatif. De plus, la science est convoquée dans ce discours. Elle est alors externalisée puisqu'elle est un élément du discours : « la science peut apporter des réponses en fait à ces problèmes ». La science est alors vue comme fournissant des éléments permettant l'action sur le monde, puisqu'elle permet une réaction face à des problèmes. Dans le même temps où la science est convoquée comme étant salvatrice, le changement climatique est énoncé, non comme un phénomène, mais comme « des problèmes ». Il y a donc à cet instant un qualificatif de valeur

attribué au changement climatique : ce n'est pas seulement un objet d'étude scientifique, mais aussi un problème à résoudre pour l'homme.

L'enseignant affirme bien le caractère particulier de ce chapitre, qui vient « en aboutissement » de tous les chapitres sur l'énergie. Il signifie ainsi que toutes les séances précédentes conduisent à celle-ci. Il la charge donc de beaucoup de sens.

L'enseignant introduit ici un changement dans le vocable utilisé. On passe de « réchauffement climatique » à « changement climatique ».

Les énoncés exprimés dans ces 3 jeux sont décrits comme étant de langage courant, car les savoirs scientifiques ne sont pas l'enjeu de ces jeux : il s'agit pour l'enseignant de problématiser le contenu de la séance, le changement climatique. Toutefois, les énoncés exprimés se retrouvent sous la forme d'énoncés empiriques (qui eux sont l'objet d'enseignement et d'apprentissage) plus tard dans la séance : le climat change (thèmes 9 et 10) et c'est inquiétant (thèmes 11, 13 et 15) ; le CO₂ augmente, l'effet de serre a un rôle dans ce changement (thème 10) ; les conséquences sont par exemple la fonte des glaces (thème 13). Autrement dit, les savoirs qui vont faire l'objet d'enseignement se trouvent déjà explicités par les élèves dès le début de la séance.

12.3.2 Les énoncés grammaticaux : des énoncés sur la nature de la science

Nous avons vu en 12.2.3.2 que les énoncés grammaticaux sont minoritaires dans cette séance et plutôt présents après les jeux consacrés à l'étude du changement climatique. Les énoncés grammaticaux dans cette séance portent sur la nature de la science, car ces énoncés explicitent quelques manières avec lesquelles la science produit des énoncés empiriques. Autrement dit, ces énoncés rendent visibles des règles grammaticales de la science en tant qu'activité de production d'énoncés empiriques.

Nous analysons ici des énoncés grammaticaux qui portent sur :

- la science vue comme la mise en œuvre de techniques (12.3.2.1). A ces énoncés succèdent alors dans la classe des énoncés empiriques sur le changement climatique vu comme un fait scientifique, prouvé grâce à des techniques ;
- la science vue comme une activité de modélisation informatique (12.3.2.2). A ces énoncés succèdent alors dans la classe des énoncés empiriques sur les conséquences du changement climatique ;
- la science vue comme une démarche (12.3.2.3). A ces énoncés succèdent alors dans la classe des énoncés empiriques sur le progrès social qu'accompagne l'activité scientifique ;

Nous concluons ensuite sur la nature et la fonction de la construction de ces énoncés grammaticaux (12.3.2.4).

12.3.2.1 Des énoncés sur les techniques de la science : la construction de la preuve du changement climatique

Nous analysons 3 jeux du thème 8 (la mise en évidence du climat passé), car ceux-ci ont pour enjeu la construction d'énoncés grammaticaux sur la manière de construire des « faits » scientifiques.

Le premier jeu du thème n°8 consiste à passer de l'étude du climat à l'étude de son éventuel changement. L'enseignant définit alors ainsi ce nouveau jeu :

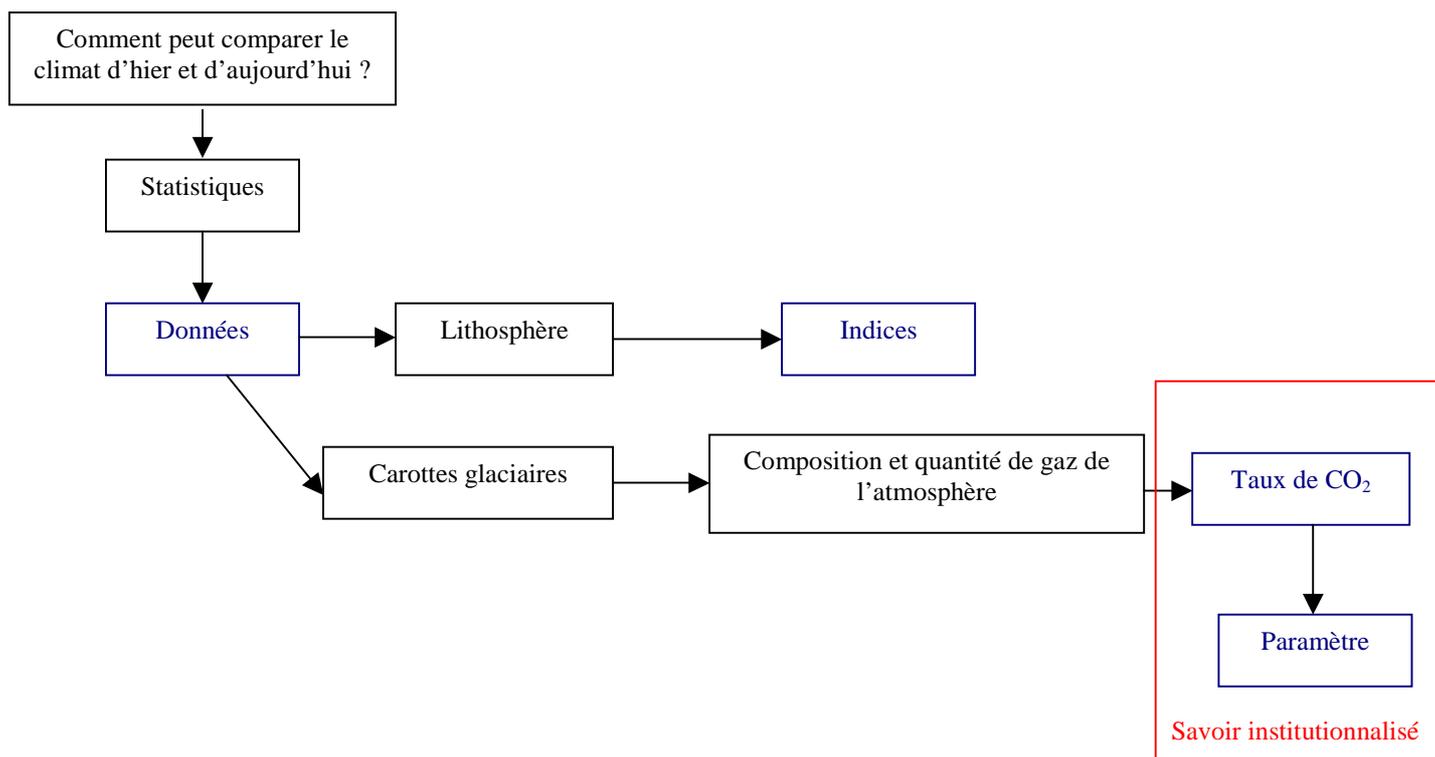
493. E :	(...) alors juste dernier point pour faire la transition par rapport à ce qu'on vient de voir donc le but quand même on va se refocaliser sur maintenant qu'on a vu le climat sur le mot changement alors le mot changement pour parler de changement vous m'avez parlé d'évolution comment on peut savoir qu'il y a changement <i>comment on peut savoir qu'il y a changement (58 :25)</i>
----------	---

L'enjeu de ce jeu est donc de décrire (« comment ») les outils qui permettent de construire une *preuve* du changement climatique (« savoir qu'il y a changement »)

L'action de l'enseignant consiste alors interagir (de type I-R-P) avec les élèves :

499. E :	d'accord donc en comparant très bien c'est par comparaison avec ce qu'il y avait avant et ce qu'il y avait après mais comment on peut comparer si je vous dis de remonter à un million
500. Joël :	bah grâce à des statistiques
501. élève :	à la glace
502. E :	donc grâce à des statistiques mais <i>les statistiques donc il faut avoir des données</i> tu les as comment les données du coup
503. Joël :	bah grâce à ce qui est dans la lithosphère non
504. E :	donc c'est-à-dire par exemple
505. Romain???	des carottes glaciaires
506. E :	oui donc ce qu'il y a dans la lithosphère <i>ça peut être des indices oui</i> ou si oui autre possibilité
507. Adrien :	les carottes glaciaires
508. E :	les
509. élève :	carottes glaciaires
510. E :	carottes glaciaires alors comment vous pouvez remonter au climat grâce à des carottes glaciaires Corentin
511. Corentin :	en mesurant le taux de gaz emprisonné dans la glace
512. E :	alors ça ça permet ouais d'avoir accès à quoi du coup
513. élève :	à la composition
514. Corentin :	à la quantité de gaz qu'il y avait
515. E :	de gaz donc ça nous permet de savoir <i>oui le taux de CO₂ (59 :26) donc c'est déjà un paramètre</i> donc après donc on va on a vu que c'était lié donc c'est déjà bien de savoir comment a évolué le CO ₂ au cours de ces années de ces dernières années voire de ces milliers d'années avant nous <i>(59 :37)</i>

Nous schématisons ci-dessous la mésogénèse de ce jeu :



Les mots « données », « indices » et « paramètre » sont introduits dans le milieu par l'enseignant et ils jouent un rôle dans le côté « authoritative » que prend la forme de communication dans ce jeu.

Le mot « données » a ici un double rôle : il permet tout d'abord de préciser le mot « statistiques » introduit par un élève et de poursuivre le jeu sur les modalités de collecte de ces données. Il sert également à l'enseignant comme critère pour écarter des propositions d'élèves, tout en les acceptant dans le milieu. Ainsi, ce qu'on peut trouver dans la lithosphère sont des « indices » et non des données, ce qui permet de relancer l'interaction sur une autre piste [T 506].

Le taux de CO₂ est quant à lui valorisé : c'est plus qu'une donnée, c'est un paramètre, c'est-à-dire « un élément important dont la connaissance explicite les caractéristiques essentielles d'un ensemble, d'une question » (définition du dictionnaire : Robert, 1990). De plus, alors que les élèves apportent au milieu « taux de gaz », l'enseignant reformule en institutionnalisant le « taux de CO₂ » comme paramètre.

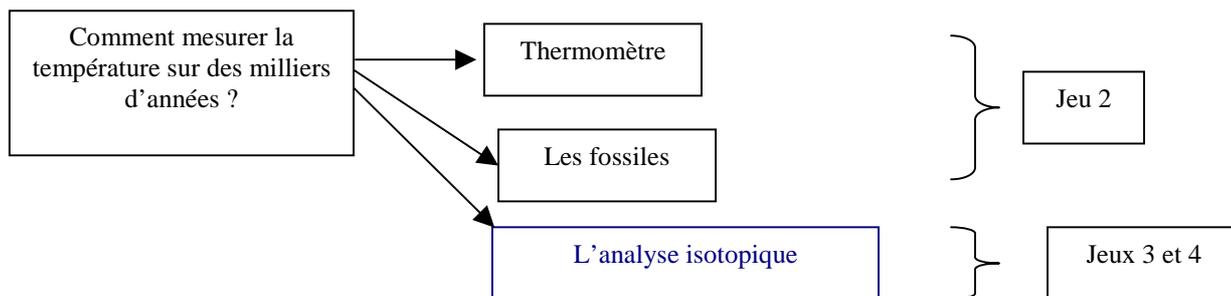
L'enseignant mobilise ainsi dans son discours des éléments de type épistémologique (« données », « indices » et « paramètre »), dont il se sert comme de « coups » pour contrôler le milieu et construire une référence commune qui va au-delà de ce que proposent les élèves.

L'enseignant définit alors le jeu suivant (n°2) en introduisant la notion de température, à la suite du « paramètre » taux de CO₂ :

515. E :	(...) après donc on a dit quelque chose d'important qu'était aussi la température avant comment on peut faire pour savoir la température est-ce que vous avez une idée déjà la température depuis combien de temps donc ça se mesure avec quoi déjà la température
----------	--

Ce deuxième jeu focalise donc sur la température dans la même phrase où il institutionnalise le taux de CO₂ comme paramètre. Il y a donc ici une mise en parallèle du paramètre « taux de CO₂ » et de la grandeur « température ».

Les jeux qui suivent approfondissent les techniques de mesure de la température et nous avons schématisé la chronogénèse de ces jeux :



Le troisième jeu consiste en un rappel sur les isotopes. Les connaissances des élèves sont alors mobilisées et participent à l'explication que donne l'enseignant de cette technique. Cette technique est donc introduite dans son principe et le 4^{ème} jeu consiste à l'appliquer « en principe ».

Le passage suivant arrive à la fin du 4^{ème} jeu et exprime le statut qu'a cette technique dans la construction d'un fait scientifique :

583. E :	(...) et donc ça permet comme ça <i>d'avoir accès à la température</i> via une échelle de température c'est bon ça pour tout le monde okay (1 :08 :43) et donc tout ça ça nous permet <i>d'accéder donc à des courbes qui nous permettent de remonter à des données</i> qui nous permettent de remonter avant 1850 les années 1850 avant l'invention du thermomètre classique qu'on utilise nous chaque jour okay donc je vous distribue les courbes obtenues donc grâce à ces méthodes <i>donc il y a d'autres méthodes après qu'on peut recouper</i> mais grâce notamment à cette méthode
----------	---

Cette technique permet tout d'abord d'« avoir accès à la température », c'est-à-dire qu'elle permet, à partir de données étrangères à la température, d'en faire une donnée. Puis « elle permet d'accéder à des courbes », autrement dit cette technique permet d'ordonner des données sous forme de courbes. Enfin, ces courbes « permettent de remonter à des données », c'est-à-dire ces courbes acquièrent elles-mêmes le statut de données, plutôt que de constructions scientifiques. Les courbes sont donc des données, dont on ne discutera pas davantage la manière dont elles sont construites.

Elles sont de plus validées car « il y a d'autres méthodes après qu'on peut recouper » [T 583]. L'enseignant justifie cette étude des techniques scientifiques car ce sont elles qui fondent selon lui la preuve du changement climatique [Ante 4] :

4.E	(...) c'est <i>grâce aussi donc aux sciences et aux sciences physiques en particulier</i> qu'on a pu voir qu'il y avait changement donc dans le temps donc tout ça ça fait penser aussi à <i>une démarche scientifique</i> parce que si on avait pas eu l'idée d'aller chercher des moyens scientifiques et techniques qui ont permis tout ça on aurait pas pu comparer et voir qu'il y avait une augmentation du gaz à effet de serre donc le rôle aussi d'un thermomètre plus paléothermomètre quoi <i>c'est intéressant aussi d'un point de vue scientifique de voir comment aussi la technique peut à un moment donné débloquer une solution et faire avancer un problème (...)</i>
-----	---

Les jeux précédents conduisent à la formulation des énoncés suivants :

- l'évolution du taux de CO₂ dans l'atmosphère est accessible via une technique d'analyse (des carottes glaciaires) : le CO₂ est un paramètre d'évolution du climat ;
- l'évolution de la température est mesurée par une technique d'analyse (isotopique), qui permet la construction de courbes qui acquièrent le statut de données ;

On peut qualifier ces énoncés de grammaticaux car l'enjeu de ces jeux est de donner la grammaire dans laquelle les énoncés empiriques sont construits et justifiés : les énoncés empiriques vont faire l'objet des jeux suivants (thème 9) et sont : la température et le taux de CO₂ augmentent depuis 1850.

La grammaire explicitée est donc ici liée à la manière dont la science construit des données scientifiques (grâce à certaines techniques, que l'on recoupe) sur des paramètres particuliers : (pour l'évolution du climat, le CO₂ et la température).

12.3.2.2 La modélisation

Le thème sur la modélisation (thème 12) s'ouvre sur un jeu questionnant les méthodes pour « savoir quelles vont être les conséquences » [T 795] du changement climatique.

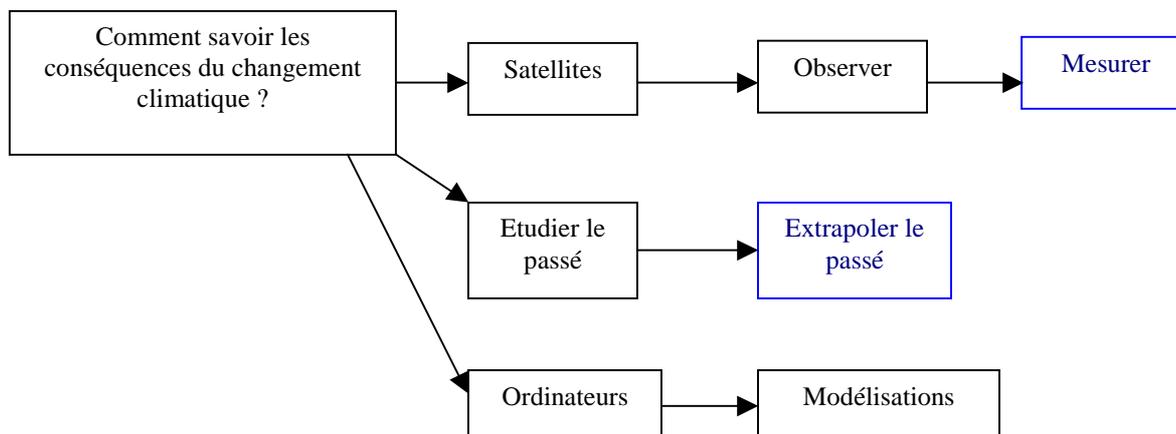
Ce premier jeu est majoritairement sous la responsabilité des élèves, qui introduisent des éléments dans le milieu : ainsi, pour eux, ce sont les satellites, les études du passé et les ordinateurs qui permettent de connaître les conséquences du changement climatique. L'enseignant reprend les éléments introduits et interagit avec les élèves, quitte à relancer l'interaction dans une autre direction :

801. E :	observer mesurer donc <i>mais après sur le long terme</i> comment on peut espérer savoir ce qui va se passer
----------	--

C'est ici le recours à une échelle temporelle qui fait que l'enseignant oriente le jeu différemment. De même, l'enseignant arrête l'interaction sur la possibilité d'extrapoler le passé et recourt à une distinction entre méthode théorique et pratique pour relancer le jeu sur une autre dynamique [T 808-811] :

808. E :	c'est-à-dire en fait tu extrapoles tu regardes ce qui se passe aujourd'hui de combien ça a et tu prends oui c'est vrai que c'est une bonne idée mais est-ce qu'on peut être sûr que ça va être proportionnel
809. Elodie :	bah non c'est théorique
810. Lorraine :	non
811. E :	non <i>mais ça peut déjà donner une idée</i> et donc tout ça on peut le calculer le voir comment à votre avis <i>comment ça se fait en pratique</i>

On peut schématiser l'enchaînement des énoncés par le schéma mésogénétique suivant :



L'introduction de « l'ordinateur », des « représentations numériques » [T 817], et finalement des « modélisations » [T 819] conduit l'enseignant à changer de jeu en passant du pluriel « les modélisations » au singulier « la modélisation ».

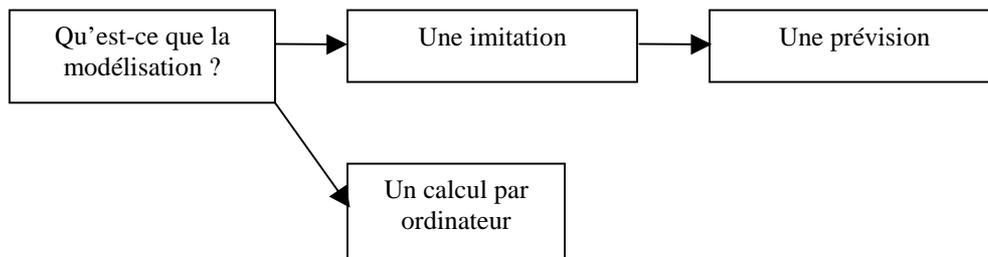
Dans ce deuxième jeu, l'enseignant interroge alors les élèves sur la nature de la modélisation. La construction conjointe d'une référence est compliquée : la modélisation est définie tour à tour comme « imitation » [T 827] puis comme « prévision » [T 834]. L'enseignant recentre alors sur l'ordinateur car l'enchaînement est laborieux :

827. Laura :	c'est quand c'est une imitation
828. E :	qu'on
829. Laura :	c'est quand on imite quelque chose
830. E :	quand on imite
831. Laura :	<i>non mais nous c'était plus c'était pas par rapport à ça mais</i>
832. E :	c'est-à-dire tu veux dire quoi
833. Laura :	c'est quand on modélise une courbe c'est quand on en prévoit les conséquences

834. E : oui donc ça permet de prévoir déjà donc modéliser ça permet de prévoir c'est déjà un très bon point et c'est quoi une modélisation *donc si on se sert d'un ordinateur* qu'est-ce qu'on fait

On peut interpréter la difficulté de l'élève (Laura) à définir la modélisation par la différence épistémologique qui existe entre les modélisations mathématiques (objet de son TPE) et numériques : « non mais nous c'était plus c'était pas par rapport à ça mais » [T 831], ce qui ferait écho aux controverses actuelles sur le statut des modèles climatiques (voir 6.2.1.3, p. 82).

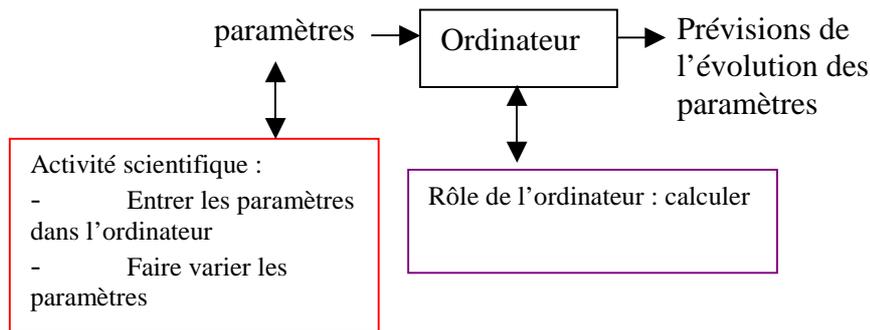
On peut schématiser alors ainsi la mésogénèse associée à ce jeu :



L'enseignant institutionnalise alors en fin de jeu l'intérêt de la modélisation :

846. E : (...) donc ça permet de *calculer* et de *rentrer tous les paramètres* qu'on a évoqués tout à l'heure et de voir *comment peuvent évoluer en modifiant certains paramètres* et ainsi *prévoir l'évolution future* c'est bon donc ça c'est le rôle de la modélisation (1 :34 :01) (...)

On peut alors schématiser la modélisation à partir de ce qui est institutionnalisé dans ce jeu :



La modélisation est conçue comme une activité aux rôles bien distribués : le scientifique entre des paramètres dans une machine et c'est cet ordinateur qui grâce à sa puissance de calcul va sortir des prévisions sur l'évolution des paramètres. Il s'agit donc davantage d'une institutionnalisation sur la modélisation numérique plutôt que mathématique. Autrement dit, la prévision est un savoir construit par le biais d'une machine.

Dans le troisième jeu, l'enseignant distribue un document « qui reprend un peu donc les différents paramètres qu'on a vu tout à l'heure et comment ils peuvent interférer et comment on étudie ça à travers justement comme disait Justine la modélisation c'est-à-dire la prévision grâce à des calculs et donc on va essayer d'affiner donc la définition de la modélisation » [T 846].

Si l'objet des échanges est la description du document et des multiples interactions entre les pôles différents qui agissent sur le climat, l'enseignant institutionnalise une définition de la modélisation associée au climat :

858. E : (...) donc modéliser c'est mettre aussi quelque chose que vous avez pas dit c'est mettre en
 859. Laura : modèle
 860. E : en modèle oui *c'est-à-dire mettre aussi en équations* c'est-à-dire calculer et donc l'ordinateur va nous aider à calculer à avoir une puissance plus importante que nous (1

:35 :29) donc on va juste marquer donc la définition de la modélisation à la suite donc la modélisation donc il s'agit de la mise donc il s'agit de la mise en équation donc *il s'agit de la mise en équation d'un phénomène complexe* donc d'un phénomène complexe comme l'est le climat donc d'un phénomène donc la mise en équations d'un phénomène complexe et ça permet comme vous l'avez dit d'en prévoir donc qui permet permettant d'en prévoir les évolutions (1 :36 :19)

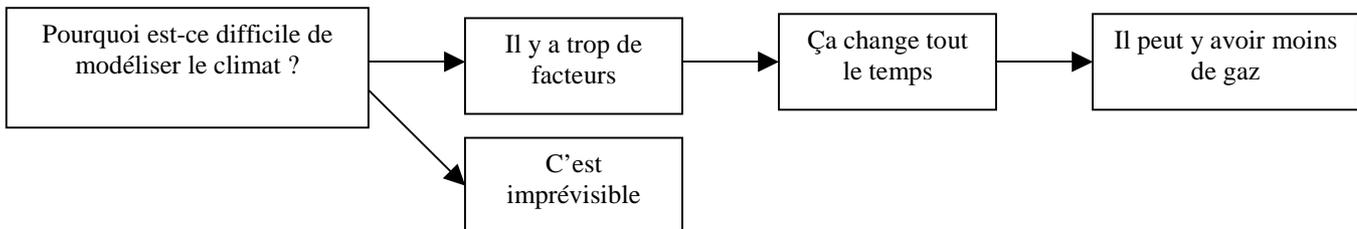
Il y a donc ici un nouvel élément qui entre dans le milieu : modéliser, c'est mettre en équation un phénomène complexe. Dans la phase d'institutionnalisation, l'enseignant assimile la mise en équation et le calcul : « c'est-à-dire mettre aussi en équations c'est-à-dire calculer » [T 860].

Il y a en fait confusion entre ce qui relève de la modélisation mathématique (la mise en équation d'un phénomène) et la modélisation numérique (le calcul ou la résolution des équations par des méthodes numériques). Cette confusion opacifie l'activité scientifique en mettant au premier plan l'ordinateur. Or ce n'est pas la machine qui remplace l'humain mais bien l'activité du physicien qui change grâce à la machine.

Le dernier jeu sur la modélisation concerne la difficulté qu'il y a à modéliser :

860. E :	(...) et pourquoi justement donc pourquoi c'est difficile pour le climat de le modéliser pourquoi c'est difficile de le modéliser (1 :36 :26)
861. Romain :	parce qu'on peut pas
862. Corentin :	c'est imprévisible
863. E :	c'est imprévisible c'est à dire pourquoi ce serait si difficile de le prévoir justement
864. Maxime et Corentin :	ça change tout le temps
865. E :	ça change tout le temps pourquoi ça change tout le temps justement par rapport à ce qu'on a vu avant
866. Corentin :	parce qu'il peut y avoir moins de gaz moins de
867. Romain :	trop de facteurs
868. E :	voilà moins de gaz et cetera et comme tu dis Romain il y a
869. Romain :	bah il y a plein de facteurs qui peuvent jouer dessus (1 :36 :46)

Nous schématisons ci-dessous la chronogénèse de la phase de régulation du jeu :



Nous notons tout d'abord que les élèves introduisent l'idée de l'imprévisibilité du climat. L'objet du jeu précédent a justement eu pour but de définir la modélisation comme outil de prévision. Considérer que le climat est imprévisible revient donc à considérer que modéliser le climat n'est pas seulement difficile mais impossible.

Les arguments des élèves sont alors de deux types (qui sont deux perspectives dialogiques) :

- « ça change tout le temps », « il peut y avoir moins de gaz » : ce qui est relevé ici est la fluctuation inhérente aux grandeurs considérées. En d'autres termes, c'est le hasard qui gouverne leur évolution. On peut donc interpréter ici que c'est une vision déterministe qui est développée : si le hasard domine et que l'évolution est imprévisible, c'est qu'on suppose que prévoir c'est connaître avec exactitude l'évolution des grandeurs.
- « il y a trop de facteurs » relève davantage de la complexité des interactions possibles entre grandeurs que des fluctuations de chaque grandeur.

Hasard et complexité sont donc les deux perspectives développées.

Dans l'institutionnalisation du jeu, l'enseignant introduit une idée absente de la phase de régulation :

877. E :	(...) donc qu'est-ce qu'on peut dire que la modélisation nous permet d'avoir des conséquences de prévoir des <i>conséquences prévisibles probables</i> c'est bon ça pour tout le monde Laura ça va
----------	--

Il introduit l'idée de probabilité qui effectivement est la perspective qui permet de concilier les deux points de vue précédents : le hasard intervient, les liens entre grandeurs sont complexes mais il est possible de prévoir l'évolution non pas exactement mais accompagnée de probabilités. C'est par conséquent dans le jeu fin des termes employés que se révèlent les positions épistémologiques développées.

On peut également noter que l'aspect probabiliste des conséquences est qualifié de différentes manières : « probables », « hypothétiques » et « prévisibles ». Ces trois qualificatifs, associés dans le discours de l'enseignant, représentent trois valences différentes dans la prise en compte du hasard. « Hypothétiques » consiste à admettre que ces conséquences sont possibles, on peut alors leur attribuer une probabilité d'existence (« probables ») sur lesquelles on peut faire des prévisions. Le terme « prévisibles » est plus ambigu car il peut être également associé à l'idée d'un hasard déterministe. C'est d'ailleurs cette valence qui est amenée dans le milieu par une élève dans un second temps :

952. E :	probables hypothétiques prévisibles d'accord
953. Elodie :	c'est trop prévisible
954. E à Elodie :	donc comment c'est
(...)	
956. Elodie :	bah c'est trop prévisible
957. E :	c'est trop prévisible c'est-à-dire tu penses que ça va l'être à coup sûr c'est ça
958. Elodie :	bah certains oui

Il y a donc l'idée d'un déterminisme associé à certaines conséquences qui oblige l'enseignant à préciser d'où vient l'aspect probabiliste des conséquences construites :

959. E :	oui d'accord il s'agit vous pouvez préciser de conséquences probables (...) puisque les modèles font toujours appel à des simplifications même si on utilise des ordinateurs les ordinateurs ils sont limités ils ont une puissance de calcul qui augmente qui augmente au fur des années mais qui est en quand même limitée et donc c'est des conséquences qui restent probables (...) car <i>la modélisation est toujours une simplification</i> là dans ce cas là du climat la modélisation donc car la modélisation est une simplification <i>car les modèles font appel à des ordinateurs qui ont une puissance certes grande mais qui est finie pour un système qui est très complexe et qui a une infinité d'interactions d'accord</i> (1 :43 :15)
----------	---

L'enseignant réfère donc ici l'aspect probabiliste des prévisions à la simplification qu'opère la modélisation, simplification due à la puissance limitée des ordinateurs. L'activité scientifique est alors ici mise en second plan par rapport au rôle des ordinateurs. Les incertitudes sont par conséquent dues au manque de puissance des ordinateurs. L'homme est alors absent de cette activité.

Les jeux précédents conduisent à la formulation des énoncés suivants :

- la modélisation est une activité scientifique de prévision, en utilisant l'ordinateur ;
- la modélisation est la « mise en équation d'un phénomène complexe » ;
- la modélisation produit des prévisions probables.

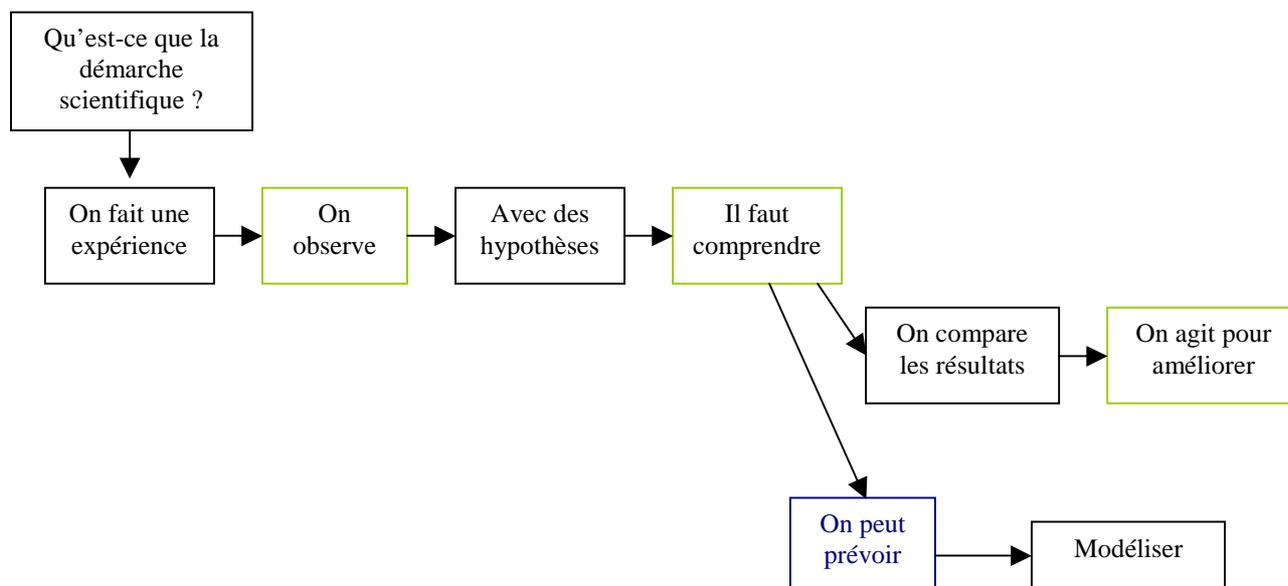
On peut qualifier ces énoncés de grammaticaux car l'enjeu de ces jeux est de donner la grammaire dans laquelle les énoncés empiriques qui vont suivre sont construits : la modélisation produit des énoncés empiriques. La grammaire explicitée est donc ici liée à la manière dont on construit les prévisions qui produisent des énoncés empiriques qui ont trait aux conséquences du changement climatique.

12.3.2.3 Un modèle de démarche scientifique

L'enseignant distribue le document n°9 aux élèves et leur demande d'expliquer ce qui est représenté dessus (seul jeu du thème 14 : expliquer la démarche scientifique).

Ici le modèle utilisé par l'enseignant de la démarche scientifique est issu du triptyque proposé par le nouveau programme de 1^{ère} S (Observer / Comprendre / Agir).

Le schéma mésogénétique est le suivant (on encadre en vert les éléments prescrits de la démarche et on écrit en noir car ce sont des paroles d'élèves) :



Les échanges donnent ainsi à voir l'image de la démarche scientifique conçue par les élèves. Ils essaient ainsi d'expliquer les liens logiques qui existent entre les trois pôles du schéma proposé par l'enseignant. Ce qui est rendu public est tout d'abord ici la prééminence de l'expérimental. Ce qu'on observe, c'est une expérience :

1097. Joël :	on fait une expérience <i>et puis</i> on observe
1098. E :	d'accord
1099. Joël :	<i>après avec des hypothèses il faut essayer de comprendre</i>
1100. élève :	<i>on compare les résultats et on agit pour améliorer</i>

La démarche scientifique commence donc par une expérience, qui mène à une observation. Entre l'observation et la compréhension, c'est la nécessité des hypothèses qui intervient. Les hypothèses sont ainsi faites à partir des observations, dans le but de les comprendre.

Enfin, on comprend les observations par comparaison des résultats. Il manque certainement un lien ici : sont-ce les compréhensions qui sont résultats ? Ou bien sont-ce les résultats d'autres expériences, fondées sur les hypothèses à tester ? Dans ce cas, on serait bien dans un modèle de type OHERIC, où les observations seraient toutefois conditionnées par une étape préalable d'expériences. Une fois qu'on comprend, on agit « pour améliorer ». Ici aussi, on peut se demander quelles sont les améliorations possibles. La visée de la démarche scientifique est ici l'amélioration des observations, de la compréhension, etc.

L'enseignant agit de manière autoritative quand il recentre les interactions autour du lien entre compréhension et prévision [T 1101-1106] :

1101. E :	d'accord il faut essayer de comprendre alors essayer des les comprendre par rapport au vocabulaire qu'on a utilisé tout à l'heure comprendre on peut comprendre et prévoir comment
1102. Romain :	comment ça fonctionne
1103. E :	par quoi
1104. Joël :	modéliser

1105. Maxime et Elodie : modélisation

1106. E : par la modélisation tout à fait (1 :54 :56)

Il force ici le lien et l'association entre les deux concepts, en introduisant dans le milieu un élément antérieurement introduit.

Le jeu précédent conduit à la formulation de l'énoncé suivant :

- la démarche scientifique consiste à observer (par l'expérience), à comprendre (par la modélisation) et à agir (pour un progrès).

On peut qualifier cet énoncé de grammatical car l'enjeu de ces jeux est de donner la grammaire dans laquelle les énoncés empiriques qui vont venir sont construits : la démarche scientifique produit des énoncés empiriques sur la nature de la science. La grammaire explicitée est donc ici liée à la nature et à la fonction de la science.

12.3.2.4 Conclusions

Nous avons vu dans cette partie que les énoncés grammaticaux concernent la science en tant qu'activité. Celle-ci présente plusieurs facettes.

Faire de la science, c'est tout d'abord recueillir des données à l'aide de techniques. C'est organiser ces données pour construire des données d'un autre type (des courbes par exemple). C'est également prendre des décisions sur ces données. Tous ces éléments épistémologiques sont mobilisés, souvent de manière implicites, pour construire l'arrière-plan de la preuve du changement climatique et de son origine anthropique : un fait scientifique est construit par la mise en œuvre d'un ensemble de techniques.

Faire de la science, c'est aussi une démarche dont la co-construction en classe s'apparente à l'accord autour d'une démarche de type OHERIC.

Faire de la science, c'est également modéliser et utiliser l'ordinateur pour prévoir. Le milieu met en jeu deux visions différentes de la modélisation (mathématique et numérique). Des éléments épistémologiques tels que le statut du hasard et de la complexité ont été en outre introduits, de façon à rendre compte, non de la probabilité liée à la preuve du changement climatique, mais des probabilités de la prévision des conséquences du changement climatique. Nous verrons en 12.3.4.2 (voir p. 256) que la nature de la science développée dans cette séance est un outil dont l'enseignant pour légitimer son propos principal : l'existence du changement climatique.

12.3.3 Les énoncés empiriques : produits d'un raisonnement causal-linéaire

Certains énoncés empiriques dans la séance A₂ sont produits par un raisonnement causal-linéaire : ce sont les énoncés qui décrivent le fonctionnement du climat (première partie de la séance, voir 12.2.3.2, p. 233)

Nous analysons ici deux propriétés de la production de ces énoncés empiriques :

- la mobilisation d'énoncés grammaticaux dans le raisonnement (12.3.3.1) ;
- la mise en œuvre d'un jeu de langage particulier : le raisonnement causal linéaire pour expliquer (12.3.3.2).

Nous concluons alors sur la nature et la fonction de ces énoncés empiriques (12.3.3.3).

12.3.3.1 Des énoncés empiriques qui mobilisent des énoncés grammaticaux

Nous illustrons ici la mobilisation d'énoncés grammaticaux pour produire des énoncés empiriques en analysant les deux jeux du thème 4 (le rôle de l'hydrosphère).

L'enseignant définit le premier jeu, qui consiste à identifier un autre paramètre (que le soleil) pouvant influencer le climat, en introduisant dans le milieu la notion de transfert thermique :

210. E :	<i>alors s'il y a plus entre guillemets donc d'énergie de chaleur comme vous avez dit à l'équateur et moins aux pôles qu'est-ce qui va se passer donc on avait vu une histoire donc de entre guillemets de transfert thermique ça correspond à quoi donc s'il y a une zone où la température est plus grande et des zones où les températures sont plus faibles qu'est-ce qu'il va se passer (23 :41)</i>
----------	---

L'enseignant donne le cadre logique et causal qui prévaut à la construction du raisonnement : « si... alors ».

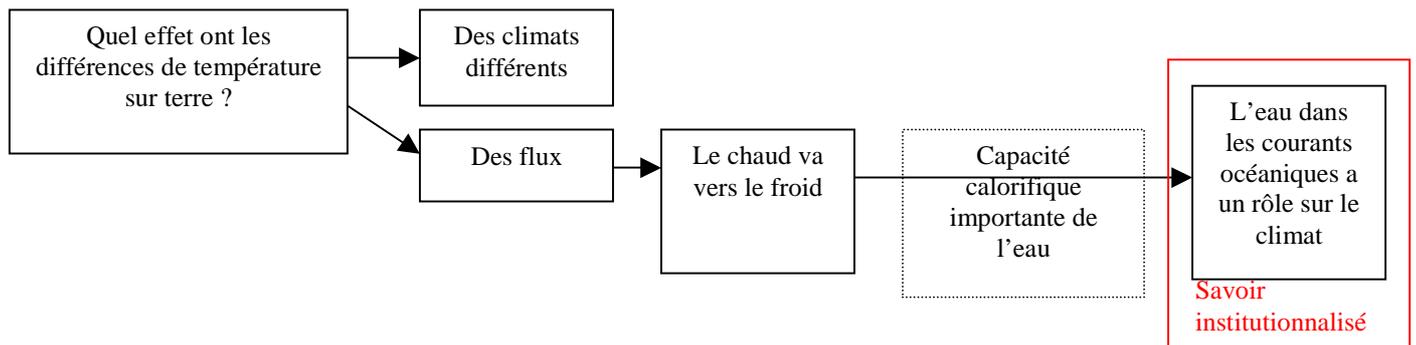
L'interaction est ensuite de type I-R-P et l'enseignant reprend les éléments du milieu que les élèves introduisent :

210. E :	(...) ça correspond à quoi donc s'il y a une zone où la température est plus grande et des zones où les températures sont plus faibles qu'est-ce qu'il va se passer ?
211. Corentin :	bah le climat est différent
212. E :	des climats différents déjà
213. Guillaume :	des flux
214. E :	pardon
215. Guillaume :	il y aura des flux
216. E :	des flux ouais c'est-à-dire
217. Guillaume :	bah le chaud va aller vers le froid
218. E :	oui comme tu dis donc le chaud Guillaume va aller vers le froid des hautes températures vers les basses températures ce qu'on appelle donc le transfert thermique et ce transfert thermique il va se faire par rapport à quoi par rapport à quel
219. Maxime :	à l'eau

Les élèves mobilisent leurs savoirs scientifiques, sous forme d'énoncés grammaticaux, pour développer le raisonnement. Ainsi, ici la topogénèse côté élève fait que l'enseignant laisse les élèves construire un raisonnement à partir de leurs connaissances, il arrête le jeu assez vite. En effet, ce qu'il va institutionnaliser est l'intérêt que l'on porte aux océans pour étudier le climat. Le mot « eau » introduit dans le milieu fait cesser l'interaction [T 219]. Un élément est même utilisé implicitement dans le raisonnement : c'est la capacité calorifique importante de l'eau qui fait que l'eau réalise le « stockage » de l'énergie rayonnante sous forme d'énergie thermique.

On peut schématiser la mésogénèse¹²¹ de manière suivante :

¹²¹ Nous encadrons en pointillé l'élément implicitement mobilisé.



La phase d'institutionnalisation qui clôt le jeu est alors de chronogénèse rapide car le mot « hydrosphère » est introduit par l'enseignant et celui-ci institutionnalise que « l'eau permet de transporter entre guillemets ces flux avec le mot de chaleur entre guillemets » [T 230].

Le deuxième jeu porte sur la description de la dynamique de ces flux que sont les courants marins :

232. E :	(...) très bien donc des courants qu'on appelle surfaciques tout à fait et des courants plus profonds les courants surfaciques qu'est-ce qui permet de les mettre en mouvement entre guillemets
233. Lorraine et Adrien :	le vent
234. E :	donc c'est le vent tout à fait et les courants de profondeur alors
235. Corentin :	la chaleur
236. Guillaume :	la température
237. Camille :	bah les variations
238. E :	la
239. Camille :	bah la variation de l'eau chaude avec l'eau froide
240. E :	oui tout à fait donc qui est liée à quoi variation de
241. Corentin :	XXXXXX
242. Camille :	température
243. Adrien :	densité
244. E :	température et donc de densité exactement

Cinq élèves participent à l'échange et c'est l'enseignant qui finalement conclut l'échange en donnant son accord sur la réponse obtenue. Les savoirs scientifiques sont ici utilisés pour rendre compte de la dynamique des courants marins : la mise en mouvement des courants profonds est justifiée par les différences de température et implicitement par l'association densité – température. L'explication par la densité est alors d'une rationalité plus forte que l'explication par la seule température car il y a un concept de plus dans la chaîne du raisonnement et implicitement cela fait appel à la convection. Ces savoirs sont dans ce cas des outils langagiers permettant de donner une rationalité aux phénomènes naturels. L'enseignant s'assure dans ce cas que cette rationalité est satisfaisante pour permettre une explication du phénomène. L'institutionnalisation reprend alors non pas la chaîne du raisonnement, mais le résultat : il existe différents types de courants marins [T 244-247].

Le jeu de langage de l'explication supporte un raisonnement de type causal-linéaire. L'objectif de l'enseignant est la production d'énoncés empiriques décrivant le fonctionnement du climat. Les élèves mobilisent des énoncés grammaticaux et l'enseignant arrête le travail des élèves quand une explication suffisante a été donnée, c'est-à-dire quand l'énoncé empirique attendu a été produit. Cette manière de faire conduit alors à la mobilisation implicite d'énoncés grammaticaux (capacité calorifique de l'eau et convection dans les exemples précédents).

12.3.3.2 Des énoncés empiriques qui se jouent dans le jeu de langage de l'explication

Nous nous intéressons ici à analyser la production d'énoncés empiriques à travers un jeu de langage particulier, celui de l'explication. Pour cela, nous étudions plus précisément les jeux ayant pour enjeu l'effet de serre (thème 5).

Le premier jeu consiste à identifier un autre paramètre (que le soleil et les océans) qui influencerait sur le climat. Ce jeu est joué par un seul élève en interaction avec l'enseignant :

247. E :	(...) (27 :44) quel qu'est-ce qu'il y a comme autres causes sur le climat donc on a l'océan qui joue un rôle fondamental qu'est-ce qu'il peut y avoir d'autre oui Corentin
248. Corentin :	les gaz
249. E :	les gaz c'est-à-dire
250. Corentin :	ben le CO ₂ par exemple
251. E :	<i>alors oui ils vont avoir une incidence où ça en fait</i>
252. Corentin :	sur la température
253. E :	sur la température alors <i>via quel phénomène</i> quel
254. Corentin :	bah l'effet de serre
255. E :	donc l'effet de serre et l'effet de serre <i>ça se situe où</i> dans l'eau
256. Corentin :	dans l'atmosphère
257. E :	dans l'atmosphère donc très bien (28 :12) il y a aussi le rôle de l'atmosphère donc on va voir à quoi ça correspond

L'échange est conduit suivant le vœu de l'enseignant : il assure la transition vers l'étude de l'atmosphère. En ce sens, ce jeu est une dévolution des jeux à venir sur l'effet de serre. Cette interaction de type I-R-P est conduite de façon autoritative, par la précision des questions de l'enseignant et les liens que l'enseignant force : « ils vont *avoir une incidence* où ? ». La réponse construite conjointement donne à voir très simplement le lien causal qui se construit entre deux objets physiques de nature différente : les gaz (dont CO₂) (objet physique) de l'atmosphère ont un impact sur la température (grandeur physique), par un phénomène appelé effet de serre.

Le deuxième jeu est très rapide : l'enseignant demande aux élèves une première explication de l'effet de serre :

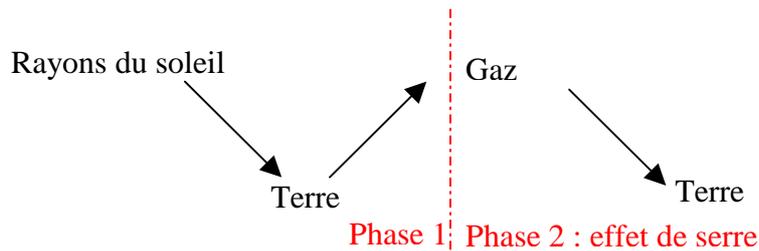
257. E :	(...) (28 :41) donc on va donc étudier un petit document mais avant <i>j'aimerais savoir</i> parce que ça se trouve ça va être très rapide <i>parce que vous avez l'air de connaître déjà pas mal</i> qu'est-ce que l'effet de serre d'où vient ce phénomène et en quoi il nous est utile néfaste etc. (28 :56) oui Adrien
258. Adrien :	ben <i>c'est les rayons</i> du soleil qui arrivent sur la Terre <i>et après</i> sont renvoyés et l'effet de serre <i>c'est quand</i> les gaz qui se trouvent dans l'atmosphère <i>il les renvoie</i> sur la Terre <i>ceux qu'ont été renvoyé</i>
259. E :	d'accord (29 :07)

L'enseignant se justifie tout d'abord en définissant ce jeu : les élèves ont « l'air de connaître déjà pas mal » de choses sur l'effet de serre et l'enseignant « aimerait savoir » jusqu'où ils savent. De plus, il introduit les adjectifs « utile » et « néfaste » pour qualifier l'effet de serre : « en quoi il nous est utile ou néfaste ? » [T 257]. On peut interpréter le « nous » comme engageant l'ensemble des élèves et l'enseignant, mais également l'humanité entière. L'effet de serre est-il utile ou néfaste à l'être humain ? L'emploi du mot « utile » renvoie à un service rendu, dont on pourrait se passer et qui n'est donc pas nécessaire. Le mot « funeste » suggère ici plutôt quelque chose de nuisible et de désastreux (« mauvaise étoile »), il reviendra de nombreuses fois durant la séance (voir 12.3.4.1, p. 255).

La réponse de l'élève apparaît bien structurée. Celle-ci est de type causale et séquentielle. Deux acteurs sont mobilisés : les rayons et les gaz. Les rayons sont les acteurs de la première phase : ils arrivent sur Terre et sont renvoyés. La deuxième phase concerne les gaz : il renvoie

les rayons vers la Terre. Seule la deuxième phase est l'effet de serre dans la réponse de l'élève.

On peut modéliser ce raisonnement par :



Ce premier modèle de l'effet de serre est accepté par l'enseignant sans explication supplémentaire.

Le 3^{ème} jeu consiste en effet à approfondir ce premier modèle : l'élève doit préciser son explication au tableau : « ça a l'air tout à fait cohérent et intéressant donc » [T 259].

L'enseignant définit ainsi le jeu puis laisse la topogénèse à l'élève qui représente au tableau le phénomène d'effet de serre (Image du tableau n°3-A₂).

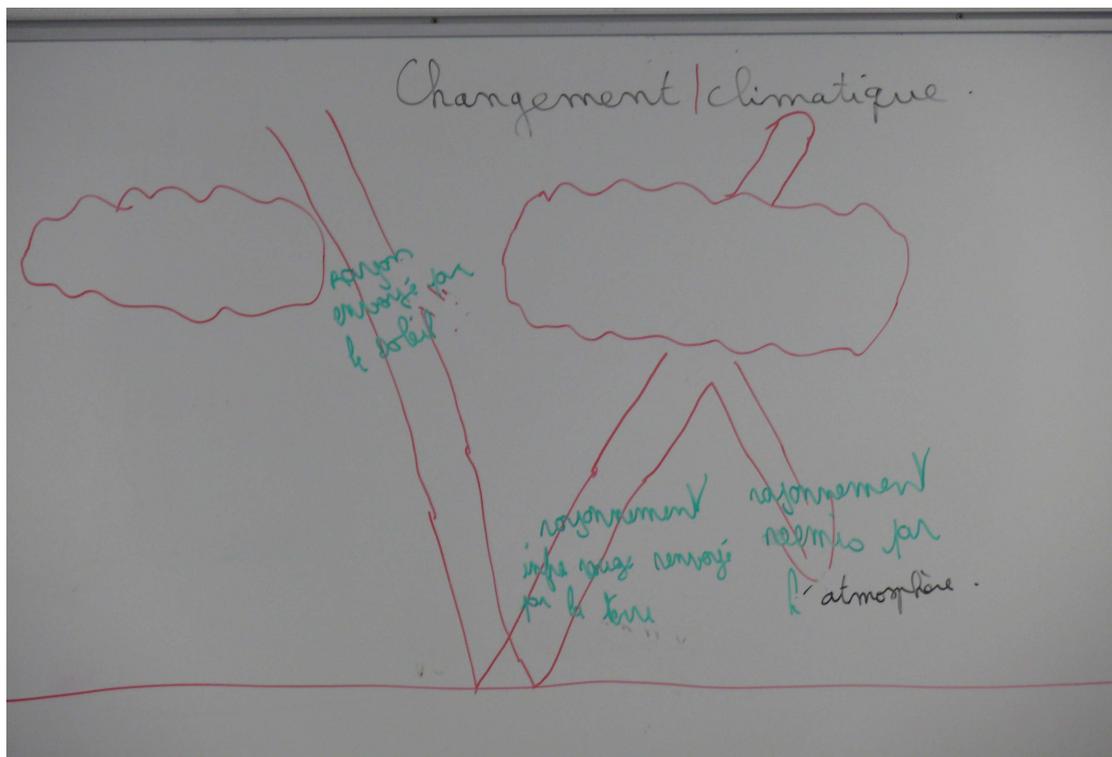


Image du tableau n°3-A₂

Trois éléments sont ici introduits de façon à compléter ce qui a été dit dans le premier jeu. Premièrement, l'enseignant fait expliciter la nature des rayonnements émis par la Terre :

272. E :	alors c'est quel type de rayonnement qui est réémis par rapport au sol
273. Laura :	XXX
274. E :	thermique oui et ça porte un nom plus précis
275. Coentin :	les infrarouges
276. E :	oui très bien le rayonnement Coentin infrarouge

Ce qui est particulier ici, c'est que seul le rayonnement émis par la Terre est qualifié d'« infrarouge ». Les rayonnements envoyés par le Soleil et réémis par l'atmosphère ne sont pas précisés.

Deuxièmement, un rayonnement transmis de la Terre vers l'espace à travers l'atmosphère est dessiné au tableau alors qu'il n'apparaissait pas dans l'explication orale du jeu précédent. C'est le signe ici qu'il ne joue sans doute aucun rôle dans la compréhension de l'effet de serre mais plutôt qu'il sert à marquer le fait que seuls certains rayonnements sont réémis vers la Terre. De même, le statut exact de ce rayonnement n'est pas interrogé et pourtant il pose question : comment se fait-il que, dans la représentation au tableau, les rayons réémis par l'atmosphère » soient exclusivement dirigés vers la Terre ?

Troisièmement, une partie des rayonnements est « absorbée » [T 264. Adrien] par la Terre, l'autre partie est « renvoyée » [T 279. Adrien], des rayonnements sont « réémis », « renvoyés » ou bien « reflétés » par l'atmosphère [T 282] :

279. Adrien :	ben ils vont les rayons infrarouges qu'ont été <i>renvoyés</i> par la terre ils vont les <i>refléter</i> et les <i>renvoyer</i> encore sur la Terre enfin
280. E :	alors qu'est-ce que tu appelles refléter comme un miroir en fait
281. Adrien :	bah oui enfin je sais pas
282. E :	oui donc là on va voir je vais vous distribuer le texte qu'est-ce qu'il se passe exactement mais c'est ça <i>c'est un peu l'idée d'un miroir</i> même si en fait c'est des rayonnements qui sont <i>absorbés</i> par les gaz et qui sont en fait <i>réémis</i> en fait d'accord donc les molécules toutes les molécules n'ont pas enfin les mêmes propriétés vis à vis de ces rayonnements infrarouges donc on va voir ça après tout à fait donc qui sont <i>réémis</i> vers la terre okay ça va pour tout le monde là pour le schéma là <i>donc ça résume bien</i>

On remarque ici que le terme utilisé lors du premier jeu « renvoyés » s'est modifié en une pluralité de termes, utilisés de manière indifférenciée, mais qui ne veulent pas dire la même chose. En effet, « réémis » laisse entendre que l'atmosphère a un rôle actif sur le rayonnement : elle est à la fois source de rayonnements (émis) et en lien avec un rayonnement reçu (ré-). Les termes « renvoyés » ou « reflétés » font davantage penser à une atmosphère qui se comporte comme un mur sur lequel les rayonnements rebondissent : l'enseignant introduit même le mot « miroir » [T 282].

On voit donc ici à l'œuvre une complexification avec l'introduction de nouveaux éléments dans le milieu par rapport au jeu antérieur. Ce jeu est également une dévolution du jeu suivant car l'enseignant en valide les éléments introduits par l'élève : « *c'est un peu l'idée d'un miroir* », « donc ça résume bien ») et renvoie à plus tard une explication plus complète : « donc là on va voir je vais vous distribuer le texte qu'est-ce qui se passe exactement ? » [T 282].

Un texte est alors fourni aux élèves pour qu'ils puissent « compléter le schéma » à l'aide du « vocabulaire plus précis » introduit [T 293]. A la suite de la lecture individuelle (jeu n°4), une élève est envoyée au tableau (jeu n°5).

La topogénèse est mixte, car l'élève introduit des éléments dans le milieu (les noms des gaz à effet de serre) et l'enseignant la questionne sur d'autres éléments (interaction de type I-R-E et I-R-P). Plusieurs éléments complètent alors la représentation dessinée lors du jeu précédent (Image du tableau n°4-A₂).

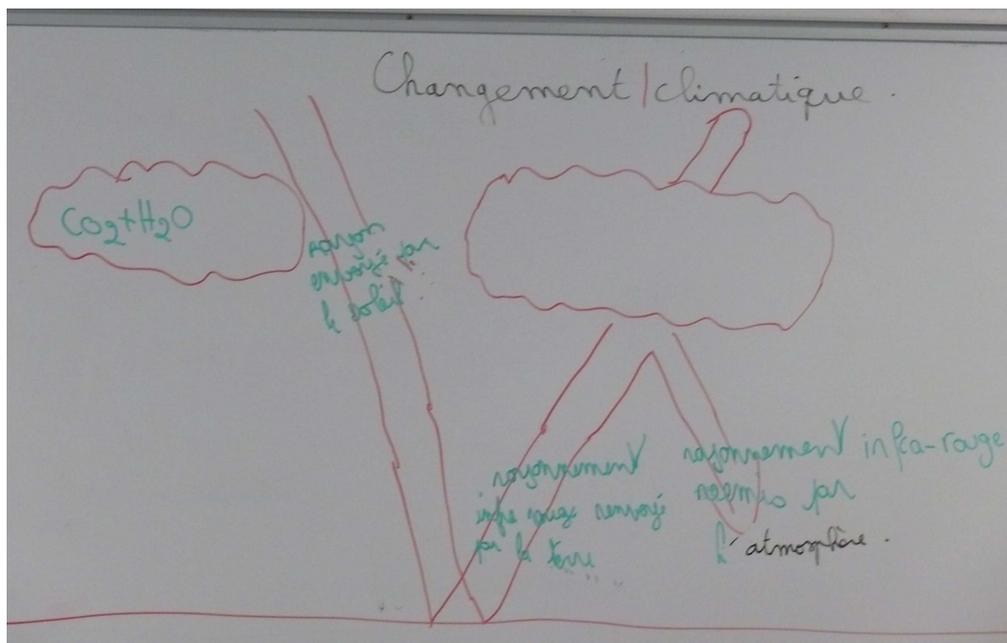


Image du tableau n°4-A2

Le premier est l'explicitation de ce qui dans l'atmosphère agit sur les rayons émis par la terre : ce sont les GES (CO₂ et H₂O sont écrits ; méthane et protoxyde d'azote sont cités à l'oral). L'enseignant fait expliciter ensuite par un jeu de questions-réponses (I-R-P) le type des rayonnements réémis par l'atmosphère : ils sont de type infrarouge.

Il qualifie de plus ces rayonnements de « un peu thermique » [T 316]:

312. E :	elle en renvoie une partie alors sous quelle forme on a mis rayonnement avec Adrien alors est-ce que c'est un rayonnement solaire d'un coup est-ce que c'est je sais pas rayonnement ultraviolet c'est quelle forme
313. Justine :	là c'est mince j'ai pas mis
314. E :	c'est un est-ce que vous avez repéré quelle est la forme du rayonnement réémis oui Joël
315. Joël :	infrarouge
316. E :	infrarouge très bien donc c'est le même type de rayonnement infrarouge <i>rayonnement un peu thermique</i> qu'on trouve hein dans les caméras voila infrarouges donc c'est rayonnement infrarouge aussi réémis par l'atmosphère

On peut s'interroger sur la nature du lien qui est fait entre « rayonnement infrarouge » et « rayonnement un peu thermique ». Ici, c'est le concept de rayonnement thermique qui est mobilisé : tout corps perd de l'énergie en émettant un rayonnement dont l'intensité augmente avec la température du corps. La température moyenne de la Terre fait que le rayonnement émis se situe dans la gamme énergétique des infrarouges. L'ajout du nom commun « un peu » laisse supposer que la nature thermique de ce rayonnement ne lui est pas intrinsèque, mais en est une propriété. Autrement dit, ce rayonnement a un lien avec la température, non parce qu'il est émis par un corps qui a une certaine température mais parce que le rayonnement lui-même a une certaine température : il en a « un peu ». L'enseignant ne raisonne donc pas ici sur des bilans énergétiques (extensivité de l'énergie) mais sur la capacité du rayonnement « à transporter de la température ».

L'enseignant explicite alors le rayonnement qui part de l'atmosphère vers l'espace :

317. E :	juste aussi un point t'as fait aussi une flèche qui monte vers le haut pourquoi qu'est-ce qu'il se passe aussi là donc c'est réflé c'est réémis ici mais c'est aussi une partie est réémis en haut d'accord et pourquoi nous ce qui nous intéresse ce serait plus cette partie là alors pourquoi c'est plus cette partie là qui nous intéresse oui Corentin
318. Corentin :	parce que c'est ce qui réchauffe la terre
319. E :	oui c'est ce qui va réchauffer entre guillemets ouais exactement donc la surface de la terre tout à fait donc c'est pour ça qu'on s'intéresse plus à cette partie même si une autre partie est renvoyée vers l'espace

Il le qualifie de « moins intéressant » que le rayonnement qui est réémis vers la Terre : Corentin lie en effet présence de ce rayonnement et augmentation de la température sur la surface de la Terre. Ce point de vue pris par l'enseignant pour minorer l'importance de ce rayonnement tient au raisonnement qui évite les questions de bilan énergétique pour privilégier une capacité qu'a le rayonnement de transporter de la température. La représentation proposée est celle d'un état transitoire et non d'un régime permanent.

Le vocabulaire sur l'influence de la matière sur le parcours du rayonnement est comme au jeu précédent multiple entre l'absorption, l'émission et la réflexion :

307. Justine :	après elle les <i>réfléchit</i> bah elle les <i>absorbe</i> mais elles les <i>réfléchissent</i> aussi je crois c'est bloqué
308. E :	oui alors <i>réfléchissent</i> qu'est-ce qu'on peut dire à la place de réfléchir parce que réfléchir ça fait penser au miroir même si
309. Corentin :	elle les <i>renvoie</i>
310. E :	elle les renvoie ou elle les <i>réémet</i>
311. Justine :	oui elle en renvoie une partie

L'enseignant institutionnalise alors à la fin du jeu en employant adéquatement les termes : « (...) rayon envoyé par le soleil qui est absorbé et réémis sous forme de rayonnement infrarouge donc qui est réémis vers les gaz de l'atmosphère okay qui sont absorbés puis réémis sous forme de rayonnements infrarouges donc qui vont réchauffer la surface terrestre » [T 323].

La comparaison du modèle du raisonnement tenu dans le 1^{er} jeu et de l'institutionnalisation faite à partir du schéma dessiné au tableau lors du 4^{ème} jeu montre que la structure logique du raisonnement n'a pas évolué d'un jeu à l'autre. Le raisonnement co-construit sur l'effet de serre à partir de différentes activités met en effet en scène un raisonnement de type causal-linéaire. On retrouve ici des résultats compatibles avec des résultats de recherche antérieurs sur les conceptions (voir 6.4.1.3, p. 87). Tout se passe ici comme si le jeu de langage joué, celui de l'explication d'un phénomène, impose une structure logique à l'action conjointe. Cette structure logique prend alors le pas sur la mobilisation d'énoncés grammaticaux. Nous avons en effet vu que les énoncés liés au comportement de la lumière face à un obstacle matériel (émission, absorption, réflexion, etc.) ne sont pas stabilisés, de même une approche énergétique n'est pas introduite. Autrement dit, c'est ici la rationalité de l'explication fournie, à travers les énoncés empiriques (nom des rayonnements, nom des GES) qui domine la mobilisation d'énoncés grammaticaux.

12.3.3.3 Conclusions

Nous avons vu précédemment que le jeu de langage de l'explication structure la logique « causal-linéaire » du raisonnement qui est mis en œuvre dans l'action conjointe. Ceci a des implications dans la production des énoncés empiriques :

- les énoncés grammaticaux sont mobilisés, mais leur enchaînement logique conduit à des éléments mobilisés implicitement dans l'action : c'est donc l'élève qui a la charge de reconstruire l'intégralité du raisonnement ;
- certains énoncés grammaticaux ne sont pas stabilisés dans la classe, ce qui fait que la grammaire qui les fonde d'un point de vue scientifique (le rationalisme de la théorie) est au service de la grammaire du jeu de langage joué (l'explication du phénomène).

Cette prédominance du raisonnement causal-linéaire peut être rapproché à ce que l'enseignant dit de la physique [Ante Energie 20] :

20. E :	d'accord bah déjà je pense essayer de leur apporter déjà une vision du monde au niveau de la physique c'est <i>expliquer</i> c'est essayer d' <i>expliquer</i> les phénomènes naturels qui nous entourent essayer qu'ils aient une compréhension du monde enfin voilà comment on peut <i>expliquer</i> des phénomènes avec la physique ou la chimie donc voilà des phénomènes concrets et comment ils peuvent faire le parallèle avec ce qu'on voit
---------	---

12.3.4 Les énoncés empiriques : une visée éducative

Certains énoncés empiriques dans la séance A₂ ont une visée éducative.

Nous analysons ici trois occurrences de la production de ces énoncés empiriques :

- l'utilisation de l'adjectif « néfaste » pour qualifier le changement climatique (12.3.4.1) ;
- le rôle positif des sciences et techniques (12.3.4.2) ;
- la prise en compte de l'incertitude (12.3.4.3) ;

Nous concluons alors sur la nature et la fonction de ces énoncés empiriques (12.3.4.4).

12.3.4.1 Un changement climatique qualifié de « néfaste »

Le qualificatif « néfaste » revient à de nombreuses reprises dans la séance.

Il est tout d'abord introduit par l'enseignant pour problématiser l'étude de l'effet de serre au thème n°8 : l'effet de serre est-il néfaste ou utile ? [T 257]. Suite à l'étude de l'effet de serre, l'enseignant A pose alors explicitement la question de l'utilité ou de l'aspect néfaste de l'effet de serre comme enjeu du jeu n°8 du thème 5 [T 370-387] (voir 12.2.1.3.1 pour l'analyse du jeu, p. 221).

Dans la suite de la séance, ce sont les élèves qui introduisent le terme « néfaste » dans le milieu pour qualifier :

- le CO₂ :

Les élèves associent alors « effet de serre », « CO₂ » et « néfaste » comme par exemple dans l'échange suivant [T 450-455] :

450. E :	(...) et le CO ₂ on a vu avant que c'était un gaz
451. élève :	néfaste
452. Marylène :	non
453. E :	à effet
454. Collectif :	de serre
455. E :	alors qui peut être néfaste si la quantité est trop grande tout à fait du coup okay (...)

On retrouve également cette association, exprimée dans les mêmes termes dans l'échange [T 657-662].

- Les conséquences du changement climatique [T 948-950] :

948. E :	(...) (1 :41 :54) alors donc voilà justement ce qui est important c'est que c'est des conséquences donc ce qu'il faut noter c'est que c'est des conséquences donc après on va essayer de discuter rapidement donc c'est des conséquences
949. Laura :	<i>néfastes</i>
950. E :	<i>néfastes déjà oui</i> donc là on s'intéresse aux conséquences <i>néfastes</i> mais c'est des conséquences
951. Guillaume :	probables
952. E :	probables hypothétiques prévisibles d'accord

On a donc ici un glissement d'un qualificatif utilisé pour décrire l'effet de serre, tout d'abord par association effet de serre / CO₂, puis par association effet de serre / CO₂/ conséquences du changement climatique.

En fin de séance, c'est l'enseignant qui utilise à nouveau le terme pour qualifier les conséquences induites par le phénomène de rétroaction [T 1015] :

1015. E :	une rétroaction c'est comme une boucle c'est ça et comme elle induit <i>quelque chose qui est néfaste</i> enfin qui augmente au fur et à mesure (...) donc <i>c'est un phénomène qui va s'amplifier s'amplifier s'amplifier (...)</i>
-----------	---

L'enseignant utilise une nouvelle fois le terme « néfaste » pour qualifier à la fois le phénomène puisqu'il associe l'amplification et néfaste, et le changement climatique. Les élèves reprennent encore une fois pour qualifier les conséquences du changement climatique : « pas bonnes » [T 1018] et « néfastes » [T 1020].

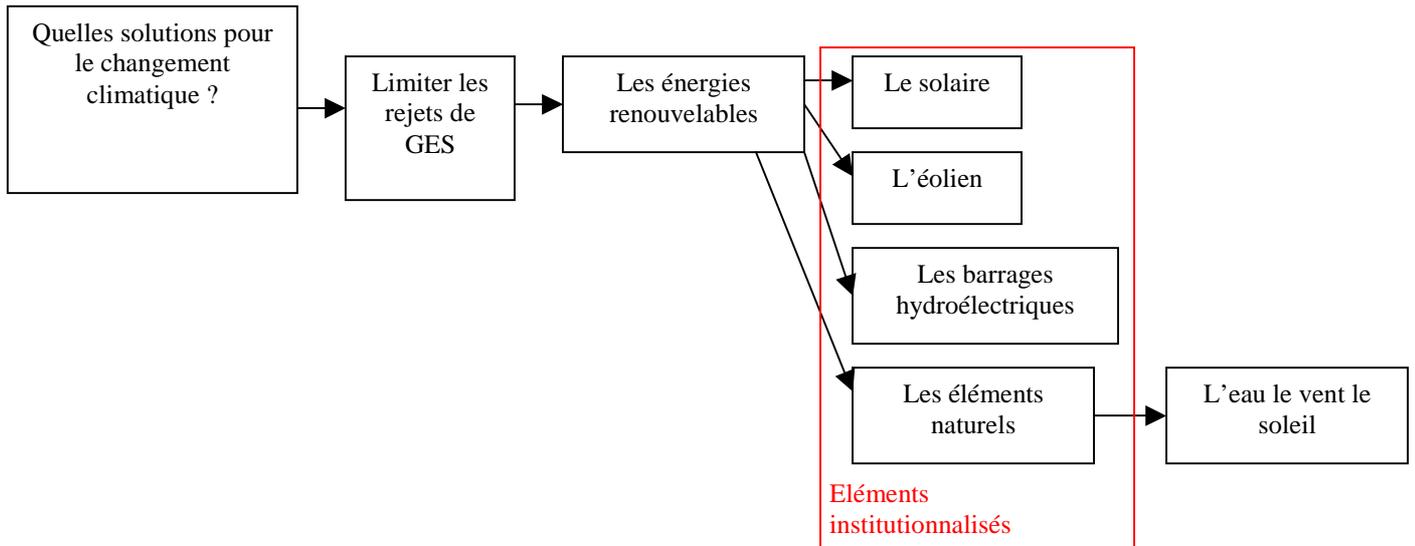
Nous observons donc ici que le mot « néfaste » est mobilisé à de nombreuses reprises dans la séance, depuis l'étude du fonctionnement de l'atmosphère (à travers l'effet de serre) jusqu'à la fin de séance : on peut donc faire l'hypothèse que l'utilisation de ce mot est structurant dans la séance, bien que ce ne soit pas un mot scientifique et qu'il soit chargé affectivement. On peut interpréter sa fonction : il participerait à la visée éducative de l'enseignant, dans le but de faire prendre conscience aux élèves de l'urgence de l'enjeu écologique. On peut de plus rapprocher l'utilisation d'un adjectif connoté affectivement avec ce que l'enseignant dit de l'apprentissage : il faut « marquer les esprits » [Ante 12].

12.3.4.2 Les sciences et techniques comme solutions au changement climatique

L'enseignant propose d'appeler les « défis énergétiques » les solutions pour remédier à ces conséquences néfastes dans le jeu n°1 du thème 13 (associer un qualificatif au changement climatique) [T 1021-1026] :

1021. E :	néfastes donc qu'est-ce qu'on peut faire pour essayer qu'elles soient <i>moins néfastes</i> ou les limiter
1022. Corentin :	XXXXXXXXXX
1023. Romain :	telle est la question (1 :48 :05)
1024. E :	alors donc c'est la quatrième et dernière partie donc on va aller très vite donc on va essayer de trouver des solutions donc quatrième partie solutions pour limiter donc le changement climatique c'est ce qu'on appelle ça constitue ce qu'on appelle <i>les défis énergétiques</i>
1025. Marylène :	c'est une partie de sous partie
1026. E :	non ça va ensemble <i>les solutions elles sont rassemblées dans ce qui nous attend dans ce qu'il faut qu'on solutionne entre guillemets qu'on appelle en fait les défis énergétiques</i> d'accord (1 :49 :00) (...)

L'enseignant fait de ces « solutions » l'enjeu du jeu n°2 du thème 13 (proposer des solutions pour limiter les GES). On schématise la mésogénèse de ce jeu [T 1026-1045] :



Nous observons sur ce schéma que les solutions aux défis énergétiques sont envisagées uniquement d'un point de vue technique, à travers les énergies renouvelables.

L'enseignant institutionnalise en effet la diversité des possibilités techniques :

1045. E : (...) (1 :49 :49) donc là il y a plusieurs possibilités pour limiter les rejets de gaz à effet de serre donc pour limiter les gaz à effet de serre on peut utiliser l'énergie éolienne l'énergie solaire c'est bon ça pour tout le monde (1 :50 :01) donc je distribue juste une solution envisagée donc il y en a plusieurs et puis c'est en cours en plus il y a beaucoup de chercheurs qui travaillent dessus et c'est en cours d'évolution donc vous avez tous entendu parler des cellules photovoltaïques du photovoltaïque c'est quoi le photovoltaïque (1 :50 :20)

L'enseignant définit également un nouveau jeu dans l'extrait précédent en introduisant un nouvel élément dans le milieu : il distribue un document sur un projet d'énergie solaire dans le désert. Ce passage donne à voir des solutions techniques, non abouties (« c'est en cours ») car elles font l'objet de recherche scientifique intense (« il y a beaucoup de chercheurs qui travaillent dessus »). Ainsi, trois éléments sont explicités ici :

- le changement climatique peut être contraint en limitant les GES ;
- pour limiter les GES il faut développer des énergies renouvelables ;
- pour développer les énergies renouvelables, les sciences et techniques sont centrales et investissent beaucoup de force de travail, en termes de recherches.

L'enseignant justifie dans l'entretien Ante cette vision de la science comme solution au changement climatique [Ante 94] :

94. E : (...) il me semble que c'est un point particulier le changement climatique mais toute cette vision de la science comment elle peut aider etc. peut aussi redonner enfin un blason un peu plus neuf justement par rapport à ce qu'on peut voir sur Fukushima les accidents etc. la science bah elle a elle peut avoir une part obscure de danger etc. mais aussi c'est merveilleux tout ce qu'on peut faire tout ce qu'on peut trouver comme solution etc. pour assurer à l'humanité son développement enfin pérenne (...)

Le développement de la science est alors facteur de progrès pour l'humanité. Il formule d'ailleurs en entretien ante comme objectif de la séance la reconnaissance pour les élèves d'une vision positive de la science [Ante 78] :

77. NH : alors finalement quels savoirs tu veux qu'ils retiennent les élèves ? Qu'est-ce que tu veux qu'ils retiennent de tout ça ?
 78. E : bah il n'y a pas comme d'habitude entre guillemets vraiment une formule ou un truc qu'on a bêtement à apprendre enfin voilà c'est plus quelque chose sur sur en fait sur la conception de tout ça en fait bah que la science c'est au cœur de nos vies c'est enfin c'est tout et comment en fait on a identifié un problème et on est en train d'essayer de le résoudre et que tout ça ça fait appel à une multitude de facteurs de choses et qu'on

La place centrale occupée par les sciences et les techniques dans les solutions possibles pour limiter l'effet de serre s'explique par l'objectif de l'enseignant : donner une image positive de la science. Cet objectif participe d'une visée éducative : un progrès social est possible grâce à la science.

12.3.4.4 Des énoncés empiriques qui engagent l'enseignant

On observe que les énoncés empiriques relatifs au changement climatique engagent l'enseignant et qu'il glisse d'une posture de « neutralité exclusive » à une posture de « partialité exclusive » (voir 3.2.3.3, p. 46). C'est ce que nous montrons dans cette partie.

L'extrait suivant illustre la manière dont l'enseignant s'y prend pour institutionnaliser dans le jeu n°2 du thème 10 (comparer les différentes courbes) l'origine anthropique du changement climatique tout en prenant des précautions oratoires vis à vis de son caractère controversé [T 736-743] :

736. E	(...) est-ce qu'on peut relier alors ça c'est une question aussi est-ce qu'on peut relier ces courbes de gaz à effet de serre avec la courbe qu'on vient de voir avant sur la température depuis les années 1800-1850
737. Elodie :	oui
738. Laura :	oui
739. E :	est-ce qu'on peut avoir une corrélation c'est-à-dire un lien entre les deux
740. Laura :	oui
741. E :	c'est-à-dire Laura comment
742. Laura :	ben parce que ils montent tous eux aussi enfin à partir des années 2000 il y en a plus
743. E :	donc voila donc on a une augmentation tout à fait de cette température en même temps qu'une augmentation des gaz à effet de serre donc ça c'est actuellement <i>on pense</i> que l'homme a une influence sur le climat (...) donc origine anthropique du changement climatique donc ça veut dire origine anthropique hein que <i>c'est l'homme qui serait la cause</i> donc du réchauffement climatique et donc ça <i>on peut étayer donc cette thèse avec des arguments</i> comme Elodie l'a évoqué il y a l'industrialisation donc il y a eu plus de rejet de gaz à effet de serre comme l'effet de serre qui est un phénomène qu'on a vu peut permettre le réchauffement donc <i>ça expliquerait</i> que la température augmente d'accord

Le choix des documents (documents 5 et 6, voir en annexes, pp. 113-114) fait que les élèves ne peuvent conclure autre chose que l'origine anthropique : l'enseignant contrôle ainsi fortement l'évolution du milieu. En ce sens, le discours de l'enseignant est essentiellement autoritaire, aussi bien dans sa manière de réguler les interactions avec les élèves que dans le choix des documents proposés. Toutefois, l'enseignant prend la précaution d'utiliser le conditionnel : « c'est l'homme qui serait la cause », « ça expliquerait ». L'origine anthropique est alors présentée comme une thèse qui fait l'objet d'un consensus : « on pense », « on peut étayer cette thèse avec des arguments », dont la finalité est d'expliquer les observations.

On peut interpréter ceci par l'inconfort qu'éprouve l'enseignant pris entre la coexistence d'un consensus d'experts (GIEC), sur lequel il s'appuie à travers les documents proposés, et d'une controverse, dont il connaît l'existence. En effet, l'enseignant justifie son choix des documents par sa volonté d'être « le plus objectif possible » [Ante 108] :

107. NH :	et ce souci d'objectivité c'est quelque chose qui est important pour toi ?
108. E :	bah ouais d'essayer d'être le plus juste entre guillemets sur ce que je leur apporte comme informations (...) ça semble important dans ma fonction de ne pas prendre parti sur ce sujet d'essayer d'exposer factuellement les différentes évolutions qu'il y a eu comment on est arrivé à ce problème <i>quelles ont été les techniques pour arriver à</i>

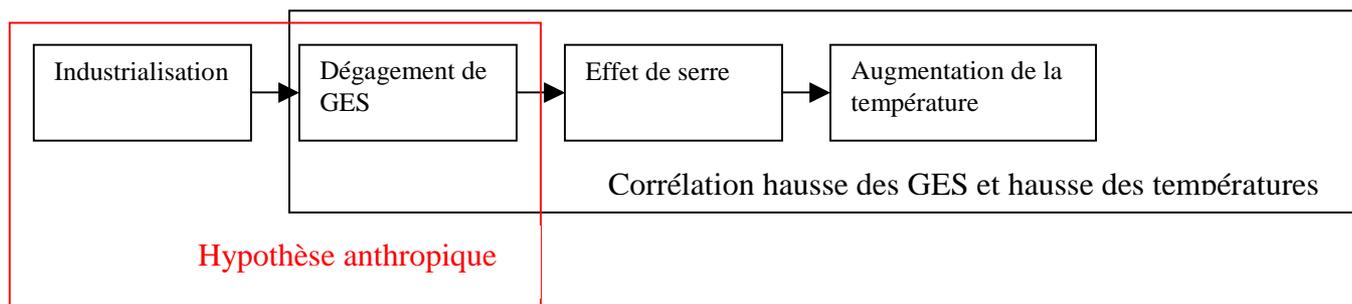
ce problème quel est ce problème et comment on peut résoudre si problème il y a dans le souci en fait de pièces logiques causes conséquences le plus possible en étant bien sûr pas persuadé que tout enfin que tout ce qui est exposé par les experts est complètement la réalité car justement on peut pas en être sûr tellement c'est complexe en fait ouais c'est important d'être le plus objectif même si le plus objectif c'est pas 100% d'objectivité mais c'est aussi le lot de la science d'avoir toujours des incertitudes aussi ça fait parti de

Ce souci de neutralité « important dans [sa] fonction » conduit à « exposer factuellement » les données. Toutefois, si on poursuit cette logique, le souci d'objectivité doit conduire aussi à mentionner l'existence de controverses sur le sujet : c'est pourquoi il utilise le conditionnel [Ante 90] :

90. E : (...) mais après j'essaie de garder la plus grande neutralité en ne m'engageant pas intimement en disant que en employant plus le conditionnel par rapport à ce qu'on ferait d'habitude en disant on constate donc on constate des faits il semble qu'on puisse établir une corrélation entre les deux puisque c'est vrai qu'on a des évolutions qui se ressemblent mais après il y a des controverses il est vrai qu'on pourrait expliquer aussi ça que par des causes naturelles

Ce recours au conditionnel est « assez bizarre » [Post 36], ce qui signifie à la fois son inconfort et le manque d'habitude dans l'utilisation de ce temps [Ante 90]. Ce souci de neutralité est associé à une posture de sa part : « en ne m'engageant pas intimement » [Ante 90]. Par conséquent, si l'enseignant prend des précautions oratoires, la situation créée et le savoir institutionnalisé font que l'élève doit déchiffrer dans le jeu de langage de l'enseignant l'existence de controverses sur l'origine anthropique du changement climatique.

On peut alors schématiser ainsi la chronogénèse qui conduit à la corrélation :



Lors de l'institutionnalisation écrite du thème (jeu n°4), l'origine anthropique du changement climatique est affirmée (tête de chapitre au tableau) et l'enseignant qualifie de « massif » les rejets de GES dus à l'industrialisation [T 772] :

772. E : (...) donc les concentrations des gaz à effet de serre comme on voit dans le document hein 6 donc les concentrations des gaz à effet de serre donc ont augmenté donc depuis les années 1800 1850 donc depuis les années 1800-1850 d'accord donc l'industrialisation donc l'industrialisation peut expliquer comme l'a dit Elodie tout à l'heure donc peut expliquer donc le rejet massif entre guillemets de gaz à effet de serre et donc l'augmentation de la température donc le rejet massif de gaz à effet de serre et donc l'augmentation et donc l'augmentation de la température puisque les gaz à effet de serre enfin l'effet de serre va être plus important (...)

Le qualificatif « massif » renforce bien l'idée de l'importance quantitative mais aussi symbolique de ces rejets. On peut interpréter l'utilisation de cet adjectif qualificatif comme un engagement plus prononcé de l'enseignant.

Pour introduire un jeu sur les conséquences du changement climatique, l'enseignant formule différemment ce qui a été obtenu au thème n°10 (jeu n°1 du thème 11):

772. E : (1 :26 :02) alors ce qu'on va se demander maintenant donc ce qu'on peut voir par l'effet c'est qu'il y aurait donc un changement climatique au niveau par exemple des différentes températures au cours du temps et que l'homme aurait accéléré le

phénomène et en quoi *quelles peuvent être* les conséquences de ce changement climatique par exemple de l'augmentation de la température qu'on constate ces dernières années *quelles peuvent être* les conséquences du changement climatique okay donc c'est la troisième partie donc vous allez prendre juste un brouillon et en 5 minutes essayer de lister *quelles peuvent être* les conséquences du changement climatique par rapport à ce qu'on vient de voir ou d'autres phénomènes *qui pourraient arriver* donc vous prenez un petit brouillon et vous travaillez par deux

L'enseignant utilise la modalité exprimée par l'utilisation du verbe « pouvoir » : ce qu'il dit est donc vu comme un ensemble de possibilités. Il change tout de même son jeu de langage par le mode des verbes utilisés dans son discours : l'indicatif est mêlé de conditionnel. Les « faits » ne sont donc plus aussi sûrs et l'enseignant prend des précautions oratoires : « il y aurait changement climatique », « l'homme aurait accéléré le phénomène ». On passe de plus ici à l'homme en tant que cause du changement climatique à l'homme vu comme accélérateur d'un phénomène. C'est donc ici un changement de point de vue qui s'opère implicitement.

L'enseignant revient en fin de séance sur la controverse, en introduisant un jeu d'apprentissage (dernier jeu de la séance : évaluer la pertinence de s'intéresser au changement climatique) qui met en avant les valeurs « structurantes » de l'enseignant :

1114. E :	(...) <i>je vous ai fait l'hypothèse</i> d'un changement climatique donc des conséquences que ça peut avoir mais il faut avoir aussi à l'esprit que ces conséquences et cetera certains hommes <i>que ce soit des hommes politiques des scientifiques remettent en cause ce phénomène</i> d'accord donc ils remettent en cause ils disent que l'homme n'a peut-être pas une influence malgré <i>bien que les modèles en fait montrent que c'est une alliance de l'homme de l'effet de l'homme et de la nature qui est au plus proche de ce qu'on constate</i> si vous voulez actuellement d'accord mais est-ce que c'est si important que ça que par exemple si ça existe pas si c'est une fumisterie entre guillemets le réchauffement climatique si c'est des conneries entre guillemets est-ce que c'est vraiment important
1115. Corentin :	bah oui
1116. Lorraine :	bah oui
1117. E :	oui pourquoi c'est important pourquoi ça
1118. Romain :	bah parce que après ce sera trop grave
1119. Elodie :	bah parce qu'après on pourra même plus agir
1120. Maxime :	mieux vaut prévenir que guérir
1121. E :	alors déjà très bien première chose mieux vaut prévenir que guérir c'est-à-dire mieux vaut anticiper et se tromper sur quelque chose en faisant des choses positives autre chose
1122. Elodie :	si on laisse partir après on pourra plus rien faire pour arrêter
1123. E :	donc déjà aussi si on laisse partir après on pourra plus
1124. Corentin :	rattraper
1125. Camille :	rattraper
1126. E :	rattraper on pourra plus rattraper et cetera donc dans les solutions qu'on a proposées donc c'est les énergies renouvelables qui s'opposent à quoi
1127. Elodie :	le charbon
1128. Corentin :	les fossiles
1129. E :	voilà aux énergies fossiles qu'est-ce qu'il se passe aussi par rapport aux énergies fossiles
1130. Camille :	dégagement de CO ₂
1131. Elodie :	pollution c'est pas renouvelable
1132. E :	et donc
1133. Elodie :	forcément elles s'épuisent
1134. E :	elles s'épuisent très bien et si forcément elles s'épuisent il va falloir qu'on trouve de toutes façons autre chose donc <i>si c'est pas le réchauffement climatique qui nous fait agir maintenant ce sera l'épuisement des énergies fossiles</i> qu'on utilise pour se déplacer et cetera ou pour produire de l'électricité donc dès maintenant <i>il faut qu'on essaie de trouver des solutions d'avoir une démarche entre guillemets scientifique comme tu as dit pour pouvoir essayer de trouver des solutions qui seront totalement bénéfiques</i> de toutes façons pour les énergies pour pallier la baisse des énergies fossiles qui est inéluctable puisque ce sont des énergies fossiles limitées

L'enseignant implique ses valeurs dans la phase de régulation : à la question « est-ce important ? », il rebondit sur les « oui » des élèves en validant leur réponse par une relance « oui pourquoi c'est important ? ». Le recours à la forme autoritative caractérise une topogénèse du côté de l'enseignant et sa relance [T 1126] conduit même à « forcer » les liens concernant le sens à donner à la controverse : elle n'est pas importante car de toute façon il faut passer aux sources renouvelables d'énergie. La régulation qu'il met en œuvre peut être considérée comme une technique mésogénétique dont le but est de conforter le point de vue qu'il a initié lors de la définition du jeu.

L'enseignant dévoile en effet sa position dès la définition du jeu [T 1114 : « je vous ai fait l'hypothèse de »] : *il* a fait l'hypothèse du changement climatique, ce qui signifie que ce changement n'est pas certain. De plus, c'est lui qui met en avant sa responsabilité dans le choix qu'il a fait de passer sous silence la controverse. Il affirme que cette incertitude n'est pas portée uniquement par des scientifiques mais aussi par des hommes politiques. Toutefois, il se justifie en émettant un jugement de valeur : « les modèles montrent », « on » constate (il indiquera lors de l'entretien post que ce « on » est la communauté des experts du climat). Il indique aussi que le choix qu'il a fait, même si c'est une hypothèse probable, a une autre finalité que celle de rendre compte d'un phénomène. Il agit ainsi pour sensibiliser les élèves à une prise de conscience que la science, dans ses méthodes et dans ses techniques, est nécessaire pour changer le monde d'un point de vue *favorable*. L'enseignement du changement climatique sert alors à marquer les élèves, en les sensibilisant à l'urgence qu'il y a à changer de modèle énergétique. Finalement, la conclusion de cette séance met en avant le lien entre démarche scientifique, développement technique et changement de modèle énergétique. Il justifie de plus dans l'entretien post le fait de n'avoir pas mis la controverse en position centrale [Post 34]:

34.E :	(...) donc une controverse c'est toujours intéressant parce que etc. mais là d'être controversé par rapport à ça est-ce que c'est pas aussi freiner une avancée scientifique qui pourra servir à autre chose ».
--------	---

L'enseignant adopte tout d'abord une posture de « neutralité exclusive » sur l'origine anthropique du changement climatique : la nature objective des preuves fournies par le GIEC fonde la neutralité qu'il adopte. Toutefois, pour assurer complètement la neutralité, il joue sur les modes des verbes en utilisant, tantôt l'indicatif, tantôt le conditionnel pour décrire ce fait scientifique. L'enseignant s'engage tout de même « intimement » en qualifiant de « massif » le rejet humain de GES, ou bien de « néfaste » le changement climatique. Cette posture cède finalement le pas à une posture de « partialité exclusive », dans le sens où il dévoile son projet éducatif en fin de séance : le changement climatique est une occasion de changer le monde et la science joue un rôle central dans ce changement.

12.3.4.5 Conclusions

Certains énoncés empiriques produits renvoient au rôle éducatif que l'enseignant donne à son action. L'enseignant se réfère à une certaine conception de l'apprentissage : l'élève apprend d'autant mieux qu'il est « marqué ». De même, le qualificatif « néfaste » revient tout au long de la séance, pour qualifier les GES, l'effet de serre, le changement climatique et les activités humaines. Il y a ainsi une sorte de marqueur affectif qui joue le rôle de fil-conducteur dans les échanges. Cette grammaire qui associe les énoncés empiriques relève donc des valeurs de l'enseignant. Nous pouvons interpréter la fonction des énoncés grammaticaux portant sur la nature de la science construits dans cette séance : ces énoncés viseraient à légitimer la place particulière que l'enseignant accorde aux sciences et aux techniques. Pour lui, les solutions du changement climatique sont en effet techniques et viendront du progrès scientifique.

L'ambition éducative se précise quand l'enseignant assume ses choix en fin de séance : en reprenant la classification de Kelly (1986), il passe alors de la posture « neutralité exclusive », où seuls les faits sont considérés, à la posture « partialité exclusive », dans laquelle l'enseignant impose un point de vue particulier aux élèves, l'explicitation de son projet éducatif.

12.4 Conclusion : un tableau de la pratique de l'enseignant A dans la séance A₂

12.4.1 Qu'est-ce qui est objet d'enseignement dans le jeu didactique ?

Nous distinguons trois objets d'enseignement dans la séance A₂.

- Tout d'abord, l'étude scientifique du climat est l'occasion d'utiliser des concepts vus antérieurement. Des énoncés grammaticaux sont en effet mobilisés pour rationaliser le fonctionnement du climat. Le système climatique peut alors être décrit en utilisant le langage construit dans les séances précédentes. Autrement dit, les élèves parlent le langage de la physique pour représenter les phénomènes climatiques. La forme de communication privilégiée est ici autoritative et la référence est constituée de ce que l'enseignant évalue des capacités de rationalisation des élèves. En effet, le jeu de langage de l'explicitation impose une structure logique de type causal-linéaire au raisonnement et l'enseignant s'assure de la validité de l'enchaînement des énoncés grammaticaux dans la mesure où ils valident l'énoncé empirique qui est l'enjeu du jeu.
- L'étude du changement climatique se fait de plus à travers la production d'énoncés grammaticaux, qui donnent des outils de représentation sur le fonctionnement de la science en tant qu'activité sociale et technique : une activité médiatisée par des techniques, une activité de modélisation numérique et une démarche fondée sur l'observation qui vise à la compréhension et à l'action.
- Le changement climatique est alors décrit sous formes d'énoncés empiriques, afin de sensibiliser les élèves aux « défis énergétiques ». Cette sensibilisation s'appuie sur le fonctionnement du climat pour construire la preuve de l'origine anthropique du changement climatique. La forme de communication autoritative privilégiée est cette fois garantie par l'expertise du GIEC. Toutefois, nous avons vu que ces énoncés empiriques ont une finalité en terme d'éducation pour les élèves : les valeurs de l'enseignant font partie du milieu car son intention est d'éduquer les élèves en leur montrant que le développement scientifique et technique est une condition de résolution à la fois du changement climatique et de la fin à venir des ressources fossiles d'énergie.

12.4.2 Comment le jeu didactique est-il joué ?

Nous reprenons ici la conclusion de la partie 12.2.4 (pp. 234-235).

Une topogénèse majoritairement sous la responsabilité de l'enseignant

La topogénèse est principalement sous la responsabilité de l'enseignant dans cette séance et est associée majoritairement à une forme autoritative de communication et à une organisation sociale « en classe entière ». Le début de séance a une topogénèse sous la responsabilité des élèves avec une forme dialogique de communication. On peut interpréter le début de séance comme une dévolution des jeux à venir, dont l'enjeu principal concerne des énoncés de type empirique.

Une mésogénèse interactive : l'enseignant alimente l'interaction en introduisant des éléments dans le milieu et en réagissant aux réponses des élèves

La quasi-totalité des échanges se fait de plus entre l'enseignant et les élèves (94.6%), plutôt qu'entre les élèves (5.4%). L'enseignant a donc un rôle central puisque la majorité des échanges passe par lui et qu'en plus l'organisation de la classe fait qu'il est « sur scène ». Les élèves ont alors la responsabilité du milieu quand l'enjeu des jeux est de « faire émerger » leurs représentations, il ne s'agit donc pas de nouveaux savoirs.

La séance A₂ est principalement interactive (66.5% du temps de la séance). Toutefois, c'est l'enseignant qui contrôle l'évolution du milieu en initiant la plupart des interactions et en introduisant majoritairement des éléments dans le milieu. L'enseignant laisse ainsi vivre majoritairement les éléments du milieu qui correspondent au point de vue institutionnel du savoir à enseigner ou bien à ce qu'il estime être une explication suffisamment rationnelle par rapport à ses attentes (la production d'énoncés empiriques). Les formes d'interaction sont alors entre l'enseignant et un élève particulier, de type I-R-E (donc courtes) ou I-R-P jusqu'à ce qu'un élève donne la réponse attendue.

Une chronogénèse « additive » de jeux à chronogénèse accélérée, dont les enjeux sont majoritairement des énoncés de type empirique

La séance A₂ est composée d'une succession de jeux à chronogénèse accélérée, dont le contenu est indépendant les uns les autres, puisque chaque institutionnalisation donne lieu à une trace écrite. Toutefois, l'enseignant intègre anciens et nouveaux savoirs en jouant sur des échelles de temps de la dévolution. En effet, il assure la continuité des savoirs au-delà de leur succession, puisque certains jeux préparent les jeux à venir et reprennent des savoirs déjà vus antérieurement. Autrement dit, l'enseignant A conçoit l'enseignement d'une séance discrète dans un spectre continu qui dépasse le cadre temporel d'une séance.

De nombreux savoirs sont institutionnalisés et ils relèvent majoritairement d'énoncés empiriques dans cette séance. On observe de plus qu'il y a alternance entre des phases où ce sont des énoncés grammaticaux qui sont l'enjeu de l'action conjointe et d'autres phases où les énoncés empiriques sont premiers quand le savoir en jeu est lié au changement climatique.

12.4.3 Quelle épistémologie pratique est mise en oeuvre ?

Une théorie implicite de l'enseignement / apprentissage transmissive et participative

De nombreux éléments nous conduisent à avancer l'idée que dans cette séance l'enseignement relève d'une théorie de l'enseignement/apprentissage de type transmissive et participative. En effet, nous avons vu que la séance est majoritairement interactive, entre l'enseignant et les élèves. En ce sens, il semble qu'enseigner, c'est faire participer les élèves. Cette participation des élèves est le plus souvent à l'initiative de l'enseignant qui est l'acteur central des interactions. La forme que prend la séance peut être qualifiée de cours dialogué. De plus, l'enseignant rend les élèves acteurs de façon dialogique principalement dans les moments où des savoirs scientifiques ne sont pas premiers : il s'agit alors pour lui de « faire émerger » leurs représentations. La forme prédominante de communication est majoritairement autoritative, ce qui signifie qu'il existe une référence qui contraint l'action conjointe. La topogénèse majoritairement du côté de l'enseignant, couplée à une forme d'organisation en classe entière, fait que l'enseignant a une place centrale dans ce dispositif : enseigner c'est donc amener les élèves à entrer dans un monde institutionnel fait de savoirs et l'action de l'enseignant consiste à tisser les fibres de ce monde à partir de ce qu'amènent les élèves, sous son contrôle. On observe de plus que ce contrôle est moins exercé en référence aux savoirs à institutionnaliser et davantage lié à ce que l'enseignant estime de la capacité d'apprentissage des élèves. En ce sens, il se pose comme transmetteur de savoirs. L'enseignant A considère de plus que les élèves apprennent en étant « marqués », c'est-à-dire qu'il recherche pour son enseignement des situations qu'il suppose susceptibles d'affecter les élèves.

Une théorie implicite des savoirs scientifiques et de l'activité scientifique

Le contrôle du milieu par l'enseignant est exercé en s'appuyant sur des connaissances relatives à la physique et à la science. En effet, la mobilisation des savoirs scientifiques sert à *expliquer* le fonctionnement du climat. La physique sert par conséquent à « expliquer » le monde qui nous entoure, en ce sens, l'enseignant se pose comme garant de l'explication fournie, à travers des savoirs scientifiques stabilisés.

Les connaissances sur la physique et la science en tant qu'activité sont également mises en œuvre dans la séance, à travers le développement technique (méthodes modernes de mesure, modélisations informatiques, énergies renouvelables) et la démarche scientifique. C'est en s'appuyant sur ces connaissances que la nature anthropique du changement climatique est « constatée ». Autrement dit, selon le point de vue de l'enseignant, les sciences et techniques améliorent la qualité de nos constats et créent de nouveaux faits scientifiques, de la même façon qu'elles créent des solutions contre le changement climatique.

Une théorie implicite de l'éducation

La grammaire qui structure la séance met en œuvre les valeurs auxquelles adhère l'enseignant. En effet, aborder cette thématique est une occasion pour l'enseignant de sensibiliser les élèves à la problématique de la fin à venir d'un monde fondé sur l'exploitation et l'utilisation d'énergies fossiles. C'est en ce sens que la controverse du changement climatique n'est pas exploitée en classe. Autrement dit, le savoir controversé n'est pas refroidi ici par la conscience d'un « risque d'enseigner » mais plutôt par une « volonté d'enseigner », dans laquelle la controverse représente un obstacle à l'idée qu'il se fait de son rôle social. Les

valeurs éducatives sur lesquelles l'enseignant fonde sa fonction sociale structurent ici profondément la séance. Tout d'abord, il s'appuie beaucoup sur des documents issus du GIEC avec la volonté de rester « le plus objectif possible ». Cette neutralité le conduit à admettre l'existence d'une controverse en utilisant le conditionnel. Toutefois, il exprime ses valeurs en fin de séance, en s'appuyant sur des connaissances « technophiles » sur le progrès social induit par le développement scientifique et technique. En reprenant la classification de Kelly (1986), nous avons vu que la posture de l'enseignant passe de la « neutralité exclusive » à la « partialité exclusive » au cours de la séance.

Pour conclure, il semble que l'arrière-plan des déterminants qui agissent dans l'action est dominé par les valeurs qui déterminent la chronogénèse et se couplent avec des connaissances de type épistémologique sur les liens science / technique et sur l'établissement d'une preuve. Les connaissances de physique et sur la science déterminent également la manière dont le langage de la physique peut expliquer le monde.

L'avant-plan est alors dominé par la manière dont le jeu didactique doit être joué : les savoirs sont premiers et c'est l'enseignant qui les transmet, par l'interaction, il doit leur expliquer un savoir qui leur est indépendant.

13. Analyse de la séance B₁

Comme dans les analyses précédentes, nous présentons successivement :

- la structuration de la séance B₁ en thèmes et jeux d'apprentissage, sous la forme d'une mise en narration, puis d'un synopsis (13.1) ;
- les caractéristiques de la pratique de l'enseignante B dans cette séance B₁ (13.2) ;
- l'analyse structurée des jeux de langage (13.3) ;
- le tableau de l'action conjointe de l'enseignante B lors de la séance B₁ (13.4).

Nous renvoyons également le lecteur à l'annexe relatif à la séance B₁, pour une consultation de l'analyse systématique de quelques jeux d'apprentissage (annexes, p. 251) et du synopsis à l'échelle des épisodes de la séance B₁ (annexes, p. 242).

13.1. Construction des signes à partir du corpus principal - Synopsis de la séance

Nous décrivons tout d'abord notre corpus principal pour cette séance (13.1). Nous structurons ensuite la séance en thèmes et jeux d'apprentissage par une mise en narration (13.2), puis nous résumons alors cette structure dans un tableau synoptique (13.3).

13.1.1 Le corpus principal : la bande-vidéo de la séance

La bande vidéo principale est issue de la caméra qui filme les élèves depuis le fond de la classe.

La bande vidéo commence au bout de 5 minutes quand les élèves sont installés (ce moment est défini comme temps 0 de l'analyse). Le film dure 50 min.

13.1.2 Mise en récit de la séance : structuration en thèmes et jeux d'apprentissage

Nous présentons ici une première structuration de la séance, que nous avons organisée en thèmes en suivant l'ordre chronologique de leur succession. La manière dont chaque thème est abordé est ensuite décrite et nous détaillons l'ensemble des jeux d'apprentissage qui s'y déroule.

Cette séance a pour objectif global d'introduire l'étude de l'énergie.

- Thème n°1 : L'énergie dans le langage courant

L'enseignante demande à chaque élève d'associer un mot au terme « énergie » et envoie au tableau une élève qui note alors les propositions des élèves. L'enseignante fait ensuite un bilan des mots écrits au tableau et en demande de nouveaux en s'adressant à toute la classe et en contextualisant sa demande à la vie courante des élèves.

Nous avons divisé le thème n°1 en 2 jeux d'apprentissage :

- Associer individuellement des mots au mot « énergie » ;
- Associer collectivement des mots au mot « énergie » ;

- Thème n°2 : La définition de l'énergie

L'enseignante demande aux élèves de définir l'énergie. Devant l'absence de réponses, elle précise le jeu : pourquoi est-ce difficile de définir l'énergie ? Les élèves proposent alors des éléments de réponse et donnent des exemples d'effets observables de l'énergie. L'enseignante définit alors oralement l'énergie comme le travail d'une force. Elle demande ensuite aux élèves de définir la notion de force et les élèves l'associent à « vecteur ». Elle institutionnalise alors oralement la force et l'énergie comme étant des concepts en tant que les deux notions se définissent mathématiquement. L'enseignante questionne ensuite les élèves sur une définition du mot « concept », puis institutionnalise oralement le rôle des mathématiques dans les définitions d'objets abstraits de la physique.

Le thème n°2 donne lieu à 3 jeux d'apprentissage :

- Définir l'énergie ;
- Définir la force ;
- Définir un concept.

- Thème n°3 : Les transformations de l'énergie

L'enseignante demande aux élèves si on peut créer de l'énergie. Une élève dit qu'on l'exploite, un autre acquiesce en prenant l'exemple de l'énergie hydraulique, deux autres indiquent qu'on l'utilise et qu'on la transforme. L'enseignante arrête alors le jeu et conclut oralement sur le fait que l'énergie se transforme.

Le thème n°3 est composé d'un jeu d'apprentissage :

- Dire si on peut créer de l'énergie.

- Thème n°4 : La nature de l'énergie

L'enseignante distribue un polycopié¹²² qui sert de cours aux élèves et sur lequel ils écrivent le titre du chapitre : l'énergie. L'enseignante fait ensuite noter aux élèves les mots écrits au tableau. Un élève lit ensuite un texte sur le polycopié concernant la difficulté à définir l'énergie et l'enseignante dicte la définition de l'énergie. L'élève reprend alors sa lecture et aborde la notion de « concept ». L'enseignante explore le lien entre la physique et les mathématiques en développant l'exemple du poids. Elle dicte ensuite que l'énergie se transforme et que toutes les transformations ne sont pas réversibles.

Le thème n°4 est ainsi composé de 6 jeux d'apprentissage :

- Ecrire le titre du chapitre ;
- Ecrire les mots associés à « énergie » ;
- Ecrire la définition de l'énergie ;
- Ecrire la définition d'un concept ;
- Rappeler les caractéristiques du vecteur force ;
- Ecrire que l'énergie se transforme.

- Thème n°5 : Le modèle simplifié de la chaîne énergétique

L'enseignante présente un modèle simplifié de chaîne énergétique et demande aux élèves de se répartir en 4 groupes, auxquels elle confie un convertisseur d'énergie (une plante verte, une calculatrice solaire, un alternateur, un sèche-cheveux). Les élèves doivent décrire le fonctionnement de l'objet qui leur a été confié à l'aide du modèle donné. Chaque groupe

¹²² Voir les annexes, pp. 240-241.

travaille ensuite à décrire son objet suivant le modèle proposé et l'enseignante passe alors de groupe en groupe pour expliquer le matériel et les aider à jouer.

Le thème n°5 est ainsi composé de 2 jeux d'apprentissage :

- Se répartir en groupe ;
- Décrire un convertisseur d'énergie en utilisant un modèle donné.

- Thème n°6 : Les formes d'énergie de plusieurs convertisseurs d'énergie

L'enseignante demande à chaque groupe de restituer leur travail au reste des élèves. Les groupes présentent alors successivement leur convertisseur et schématisent les transformations d'énergie au tableau à l'aide du modèle de chaîne énergétique donné.

Le thème n°6 est ainsi composé de 4 jeux d'apprentissage :

- Décrire à la classe un alternateur en utilisant un modèle donné ;
- Décrire à la classe une calculatrice solaire en utilisant un modèle donné ;
- Décrire à la classe un sèche-cheveux en utilisant un modèle donné ;
- Décrire à la classe une plante en utilisant un modèle donné.

- Thème n°7 : Les formes d'énergie : une classification

L'enseignante reprend successivement les modèles écrits au tableau pour chaque convertisseur (alternateur, photopile, fer à souder, plante). Elle introduit alors les noms « corrects » de chaque forme d'énergie et fait trouver par les élèves la forme d'énergie manquante à la liste constituée : l'énergie nucléaire.

Le thème n°7 est ainsi composé de 5 jeux d'apprentissage :

- Nommer correctement les formes d'énergie converties dans l'alternateur ;
- Nommer correctement les formes d'énergie converties dans la calculatrice solaire ;
- Nommer correctement les formes d'énergie converties dans le fer à souder ;
- Nommer correctement les formes d'énergie converties dans la plante verte ;
- Trouver la forme d'énergie manquante à la liste constituée : l'énergie nucléaire.

13.1.3 Synopsis de la séance

Nous avons structuré la séance suivant le thème abordé, les jeux d'apprentissage qui s'y déroulent, l'organisation sociale de la classe, le temps passé à chaque jeu et les numéros de tour de parole tels qu'ils se trouvent sur la transcription (voir les annexes, p. 258).

Le tableau n°1-B₁ ci-dessous constitue ainsi le synopsis de la séance sur le changement climatique de l'enseignante B.

Tableau n°1-B₁ : Synopsis de la séance B₁

Thème	Temps	Tour de paroles	Jeux d'apprentissage	Organisation de la classe
Thème n°1 L'énergie dans le langage courant	(0:00)→ (3:26)	1→35	Associer individuellement des mots au mot « énergie »	Individuel
	(3:26)→ (5:47)	35→51	Associer collectivement des mots au mot « énergie »	Classe entière
Thème n°2 Définition de l'énergie	(5:47)→ (7:57)	51→74	Définir l'énergie	Classe entière
	(7:57)→ (10:39)	74→98	Définir une force	Classe entière
	(10:39)→ (11:58)	98→112	Définir un concept	Classe entière
Thème n°3 Les transformations de l'énergie	(11:58)→ (12:56)	112→122	Dire si on peut créer de l'énergie	Classe entière
Thème n°4 La nature de l'énergie	(12:56)→ (14:34)	122→129	Ecrire le titre du chapitre	Classe entière
	(14:34)→ (17:05)	129→131	Ecrire les mots associés à « énergie »	Classe entière
	(17:05)→ (18:51)	131→135	Ecrire la définition de l'énergie	Classe entière
	(18:51)→ (19:19)	135→136	Ecrire la définition d'un concept	Classe entière
	(19:19)→ (20:02)	137→147	Rappeler les caractéristiques du vecteur poids	Classe entière
	(20:02)→ (22:18)	147→152	Ecrire que l'énergie se transforme	Classe entière
Thème n°5 Le modèle simplifié de la chaîne énergétique	(22:18)→ (26:59)	152→177	Se répartir en groupe	Classe entière / En groupe
	(26:59)→ (30:45)	177→222	Décrire un convertisseur d'énergie en utilisant un modèle donné	En groupe
	(32:41)→ (33:06)	238→245		
Thème n°6 Les formes d'énergie de plusieurs convertisseurs d'énergie	(30:45)→ (32:41)	222→238	Décrire à la classe un alternateur en utilisant un modèle donné	Exposé
	(33:06)→ (35:47)	245→272	Décrire à la classe une calculatrice solaire en utilisant un modèle donné	Exposé
	(35:47)→ (39:43)	272→352	Décrire à la classe un sèche-cheveux en utilisant un modèle donné	Exposé
	(39:43)→ (42:50)	352→394	Décrire à la classe une plante en utilisant un modèle donné	Exposé

Thème	Temps	Tour de paroles	Jeux d'apprentissage	Organisation de la classe
Thème n°7 Les formes d'énergie : une classification	(42:50)→ (44:52)	394→400	Nommer correctement les formes d'énergie converties dans l'alternateur	Classe entière
	(44:52)→ (46:24)	400→414	Nommer correctement les formes d'énergie converties dans la calculatrice solaire	Classe entière
	(46:24)→ (47:01)	414→416	Nommer correctement les formes d'énergie converties dans le fer à souder	Classe entière
	(47:01)→ (48:25)	416→420	Nommer correctement les formes d'énergie converties dans la plante verte	Classe entière
	(48:25)→ (49:24)	420→434	Nommer la forme d'énergie manquante à la liste constituée : l'énergie nucléaire	Classe entière

13.2. Caractéristiques de la pratique de l'enseignant B dans la séance B₁

Nous présentons maintenant nos résultats en décrivant les caractéristiques de la pratique de l'enseignante B dans la séance B₁, à partir de la répartition et de l'évolution des mots-clés qui ont été codés à l'aide de Transana. Nous illustrons de plus ces descriptions à l'aide de quelques extraits issus de la transcription.

Comme dans les chapitres précédents, nous organisons le compte-rendu des descripteurs suivant qu'ils décrivent des caractéristiques de :

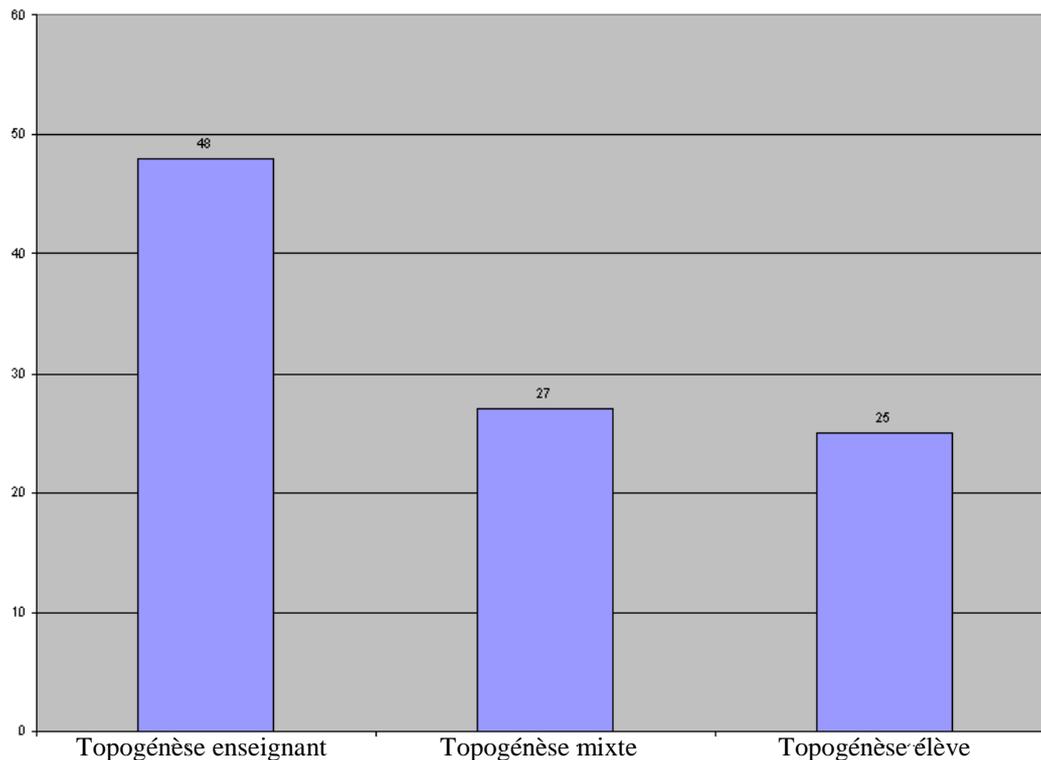
- la topogénèse (13.2.1) ;
- la mésogénèse (13.2.2) ;
- la chronogénèse (13.2.3).

13.2.1 Une topogénèse qui dépend des formes d'organisation sociale de la classe

Nous commençons notre analyse en décrivant la répartition en % (du temps de la séance) de la topogénèse lors de la séance B₁ : la topogénèse est majoritairement sous la responsabilité de l'enseignante (13.2.1.1). Nous complétons la description de la topogénèse en croisant les descripteurs « formes de communication » et « formes d'organisation sociale du travail en classe » (13.2.1.2). Nous spécifions alors davantage la topogénèse en analysant quelques extraits où la topogénèse est sous la responsabilité des élèves (13.2.1.3) ou bien mixte (13.2.1.4). Nous caractérisons également les épisodes où l'enseignante est responsable de la topogénèse (13.2.1.5). Nous concluons finalement en résumant les principales caractéristiques de la topogénèse dans la séance B₁ (13.2.1.6).

13.2.1.1 Une responsabilité importante de l'enseignante dans l'évolution du milieu

Nous représentons dans le graphique n°1-B₁ la répartition en % (du temps de la séance) de la topogénèse lors de la séance B₁ :



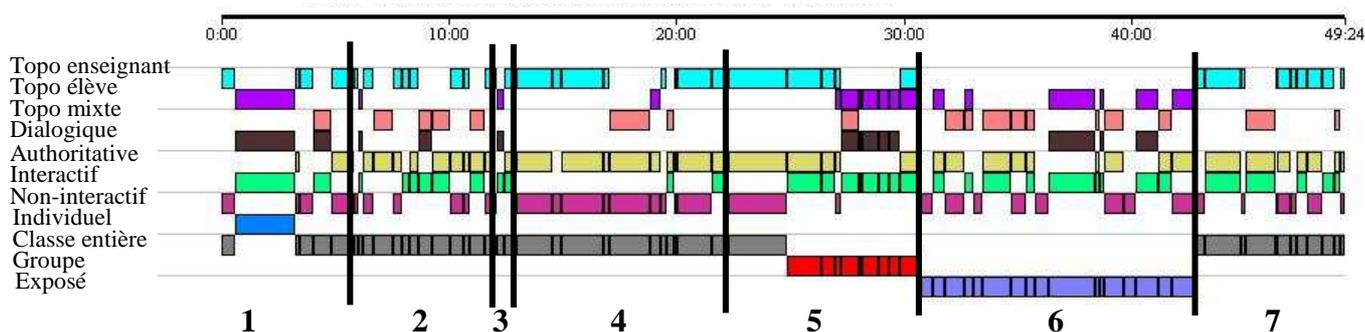
Graphique n°1-B₁ : Répartition de la topogénèse (en % du temps de la séance) lors de la séance B₁

La topogénèse est majoritairement du côté de l'enseignante (48% du temps de la séance) contre 25% pour les élèves. On observe de plus que la topogénèse est mixte pour 27% du temps de la séance. On peut donc en déduire que c'est l'enseignante qui a majoritairement le contrôle de la forme que prend l'évolution du milieu.

Nous caractérisons davantage la topogénèse dans les parties suivantes, en étudiant l'évolution de la topogénèse dans la séance et en croisant l'analyse avec d'autres descripteurs.

13.2.1.2 Evolution des descripteurs permettant de caractériser la topogénèse de la séance B₁

Nous présentons dans le graphique n°2-B₁ l'évolution des descripteurs qui nous permettent de caractériser plus précisément la topogénèse. Ces descripteurs sont liés aux formes de communication utilisées et à l'organisation sociale de la classe.



Graphique n°2-B₁ : Evolution des descripteurs liés à la topogénèse lors de la séance B₁

On remarque sur le graphique n°2-B₁ que :

- la topogénèse du côté des élèves est souvent associée à une organisation sociale de la classe, autre qu'« en classe entière » (14 épisodes sur les 17 épisodes codés « topogénèse élève ») : travail individuel dans le thème n°1 (l'énergie dans le langage courant) ; travail en groupe dans le thème n°5 (le modèle simplifié de la chaîne énergétique), exposés de groupe lors du thème n°6 (les formes d'énergie de plusieurs convertisseurs) ; la forme de communication est souvent dialogique quand la topogénèse est du côté des élèves (11 épisodes sont codés en même temps « dialogique » et « topogénèse élève », sur une totalité de 17 épisodes « topogénèse élève » et 13 épisodes codés « dialogique ») ;
- certains épisodes sont codés à la fois « topogénèse enseignant » et « topogénèse élève », quand le travail est en groupe et que l'enseignante interagit dans un groupe (par exemple « topogénèse enseignant »), indépendamment de ce qu'il se passe dans les autres groupes (qui relève d'une « topogénèse élève »).
- la topogénèse mixte est le plus souvent associée à une forme de communication authoritative / interactif ;
- la topogénèse est majoritairement du côté de l'enseignante (48% du temps de la séance), la forme de communication privilégiée est le couple authoritative / non interactif (44% du temps des épisodes codés) et l'organisation sociale de la classe est essentiellement en classe entière (58% du temps de la séance) ;
- la topogénèse passe progressivement de la responsabilité des élèves (thème 1), à une responsabilité partagée (thème 2) puis sous la responsabilité de l'enseignante (thèmes 3-5) ; A partir de la minute 25, la topogénèse passe de la responsabilité de l'enseignante (thème 5) à une responsabilité principalement exercée par les élèves (thème 6). En fin de séance, la topogénèse est à nouveau sous la responsabilité de l'enseignante.

Nous développons davantage ces quelques éléments en précisant maintenant les propriétés du milieu liées à une topogénèse sous la responsabilité des élèves (13.2.1.3), mixte (13.2.1.4) ou bien sous la responsabilité de l'enseignante (13.2.1.5).

13.2.1.3 Une topogénèse du côté des élèves dans les épisodes où l'organisation sociale de la classe n'est pas « en classe entière » et où la forme de communication est essentiellement dialogique

Nous avons vu précédemment que les épisodes dont la topogénèse est sous la responsabilité des élèves sont généralement associés à des formes d'organisation sociale de la classe qui sont du travail individuel ou de groupe. Nous nous intéressons ici à spécifier la topogénèse du point de vue des savoirs en jeu.

La topogénèse est sous la responsabilité des élèves :

- dans des jeux où les savoirs ne sont pas mis en jeu

C'est par exemple le cas du jeu n°1 du thème 1, où les élèves doivent individuellement associer des mots à « énergie ». Les mots proposés par les élèves sont écrits au tableau (voir l'image du tableau n°1-B₁) :

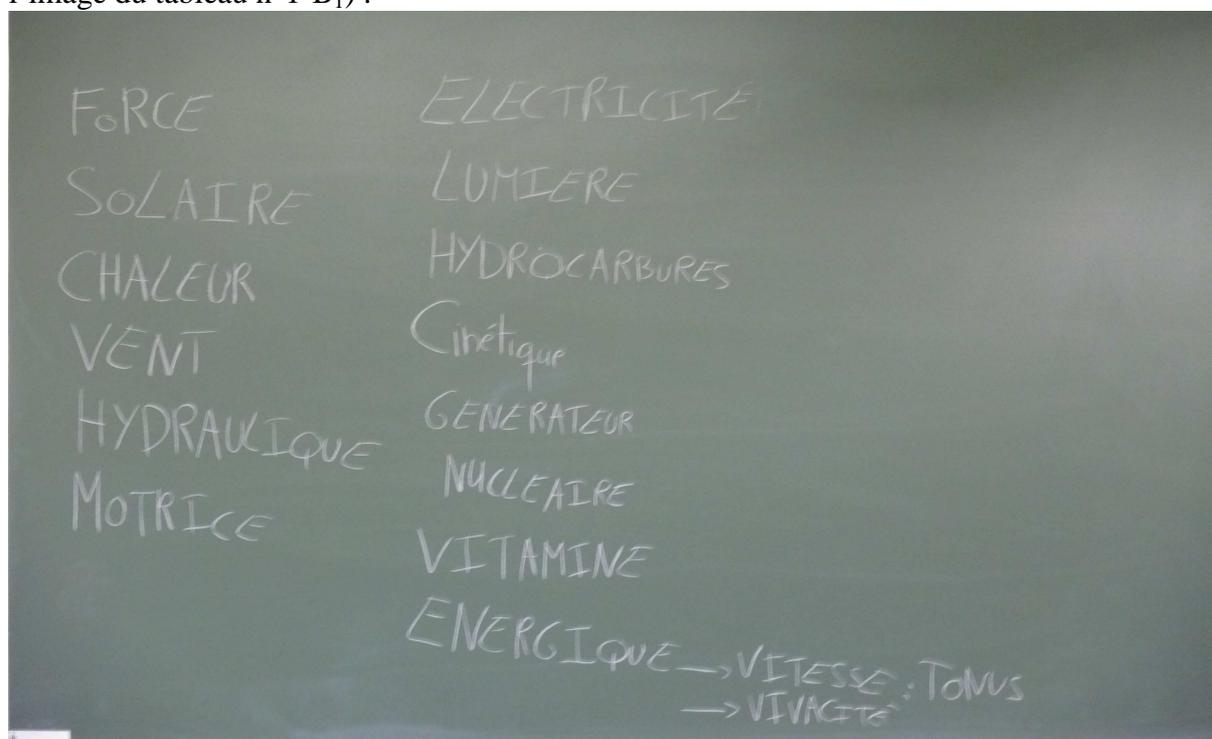


Image du tableau n°1-B₁

Nous pouvons classer ces mots en deux registres :

- le registre du langage courant : solaire, chaleur, vent, hydraulique, électricité, lumière, nucléaire ;

En effet, ces mots sont fréquemment employés dans le langage courant en lien avec l'énergie. De plus, on peut référer ces mots aux études sur les conceptions, notamment l'adéquation entre l'énergie et ses sources (voir 5.3.1.2, p. 68). Ce registre correspond en effet à l'usage que l'on fait couramment du mot « énergie » : l'énergie y est vue avant tout comme une source d'énergie.

- le registre lié plus spécifiquement à la physique : force, motrice, hydrocarbures, cinétique, générateur ;

Le lien de ces mots avec l'énergie est moins évident. En effet, si l'on se place du point de vue du langage courant, le mot force n'a pas de lien particulier avec l'énergie. On retrouve tout de même ici une conception courante de l'association force / énergie (voir 5.3.1.2, p. 68). De

même, on parle plutôt de pétrole ou de carburant que d'hydrocarbures. D'autres mots appartiennent plus spécifiquement au registre de la physique (cinétique, générateur par exemple).

Il n'y a donc pas ici de savoirs scientifiques auxquels les formes de communication se réfèrent puisque toutes les propositions sont acceptées dans le milieu. En ce sens, les formes de communication sont ici dialogiques.

- dans des jeux où des raisonnements sont débattus

C'est par exemple le cas des jeux n°2 du thème 5 (le modèle simplifié de la chaîne énergétique) et n°3 du thème 6 (les formes d'énergie de plusieurs convertisseurs), la topogénèse se caractérise par les formes dialogiques de communication : des raisonnements différents sont mis en œuvre pour décrire de manière alternative les convertisseurs d'énergie.

Nous illustrons notre propos par un extrait issu du jeu n°3 du thème 6 (décrire à la classe un sèche-cheveux en utilisant un modèle donné). Les élèves du groupe restituent leur travail sous forme d'exposé et un débat s'engage sur la nature de cette forme d'énergie.

D'un côté, les élèves du groupe défendent l'idée que l'énergie utile d'un sèche-cheveu est de « la chaleur », parce qu'il y a de « l'air chaud » [T 279-280] :

279. Jérémy :	il s'est transformé de l'énergie électrique en <i>chaleur</i>
280. Clément :	de l'énergie électrique qui arrive et <i>ça sort de l'air chaud</i>

De l'autre, les élèves de la classe expriment l'idée que c'est de l'énergie liée au mouvement de l'air :

296. Martin :	l'air il faut bien le <i>propulser</i> quand même donc
297. Cindy :	<i>c'est l'air en mouvement</i>
298. Martin :	voilà <i>motrice</i>

Finalement, la difficulté des élèves vient de la règle du jeu : ils doivent identifier et nommer l'énergie sortante utile, or pour eux il y a deux énergies sortantes : celle liée à l'augmentation de température de l'air et celle liée à la mise en mouvement de l'air [T 309-320].

Les élèves utilisent alors une grande variété de vocabulaire pour décrire le fonctionnement énergétique du sèche-cheveu : « chaleur » [T 279], « énergie thermique » [T 318], « énergie calorifique » [T 291], « motricité de l'air » [T 298], « vent » [T 316], « énergie éolienne » [T 319]. Les élèves opposent de plus classiquement chaleur à froid.

Nous renvoyons le lecteur au jeu n°4 du thème 6 [T 352-386] (annexes, pp. 275-277) pour un autre exemple de cette forme de dialogisme, associée à une topogénèse sous la responsabilité des élèves.

13.2.1.4 Une topogénèse mixte quand les savoirs font l'objet d'une construction conjointe, majoritairement dans une forme de communication interactive et autoritative

Une topogénèse mixte est mise en œuvre quand l'enseignant cherche à ce que les élèves participent à la construction du savoir à institutionnaliser.

Le jeu n°2 du thème 7 (nommer correctement les formes d'énergie de l'alternateur) illustre cette topogénèse mixte. Ce jeu concerne un retour sur la chaîne énergétique produite par un groupe d'élèves d'une calculatrice solaire. Les élèves ont écrit en « forme d'énergie

entrante »¹²³ « énergie solaire » et en « forme d'énergie sortante »¹²⁴ « énergie électrique ». L'enseignante valide la forme électrique de l'énergie et l'extrait suivant concerne une discussion sur « l'énergie solaire » et l'institutionnalisation de « l'énergie rayonnante » [T 403-414] :

403. E :	(...) vous avez proposé en entrée énergie
404. Guillaume :	solaire
405. E :	solaire alors là voyez ça <i>c'est une limite du langage courant</i> puisque on je vous ai mis je vous ai dit calculatrice solaire en fait cette calculatrice elle peut marcher aussi avec de la lumière qui n'est pas une lumière solaire elle peut tout à fait marcher avec les lampes là de la salle je pourrai faire le noir là avec qu'on n'ait pas d'énergie solaire qui arrive est-ce qu'elle fonctionnerait
406. Mickaël :	oui
407. E :	oui alors on appelle cette énergie là comment pas solaire du coup
408. Mickaël :	lumineuse
409. Cédric :	lumineuse
410. E :	lumi alors oui <i>mais en seconde vous avez vu on a vu un peu la lumière vous l'avez vue l'année dernière chaque lumière chaque couleur je ne vais pas refaire le cours de seconde</i> est associée à un type de
411. Martin :	rayon
412. E :	rayonnement oui c'est ça rayonnement puis après il y avait la longueur d'ondes donc on va appeler cette énergie là une énergie
413. Cindy :	rayonnante
414. E :	rayonnante d'accord donc énergie rayonnante énergie électrique (46 :24)

La topogénèse est ici mixte car l'enseignante et les élèves apportent des éléments au milieu. L'enseignante introduit l'idée de « limite du langage courant » dans l'appellation « calculatrice solaire » [T 405], puis le fait que ce qui est l'objet du jeu a déjà été vu en classe de seconde [T 410]. Les élèves introduisent alors dans le milieu de nouveaux éléments en adéquation avec les régulations de l'enseignante. La forme de communication est ici authoritative, car c'est le mot institutionnel « rayonnante » qui fait référence ici.

Nous renvoyons le lecteur aux jeux n°2 du thème 2 [T 83-98] et n°5 du thème 4 [T 137-147] (annexes, p. 262 et pp. 265-266) pour d'autres exemples de topogénèse « mixte ».

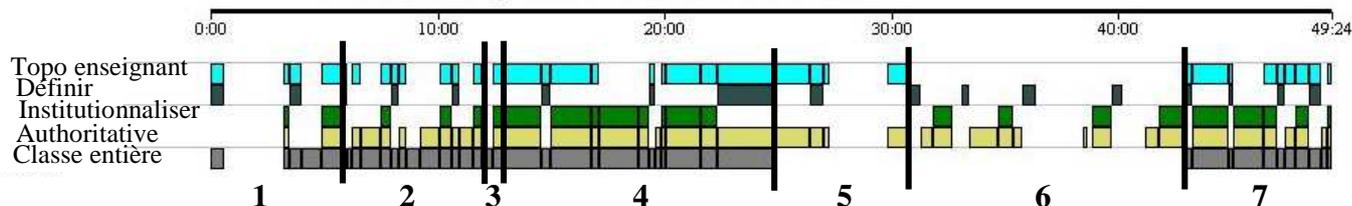
La topogénèse mixte a alors comme propriété la régulation du jeu par l'enseignante afin que les élèves y puisent de nouvelles pistes de raisonnement.

13.2.1.5 Une topogénèse du côté de l'enseignante dans les épisodes de définition des jeux et d'institutionnalisation des savoirs

Nous avons remarqué sur le graphique n°1-B₁ que la topogénèse est majoritairement du côté de l'enseignante, et sur le graphique n°2-B₁ que la forme de communication privilégiée est le couple authoritative / non interactif et l'organisation sociale de la classe est essentiellement en classe entière. Les épisodes où la topogénèse est sous la responsabilité de l'enseignant concernent principalement des épisodes de définition et d'institutionnalisation.

¹²³ et ¹²⁴ Il s'agit des mots du modèle donné par l'enseignante.

C'est ce que montre l'évolution des descripteurs du graphique n°3-B₁ :



Graphique n°3-B₁ : Évolution de la topogénèse du côté de l'enseignant et des techniques définir et institutionnaliser lors de la séance B₁

Nous observons également sur le graphique n°3-B₁ que ces épisodes sont le plus souvent associés à une forme autoritative de communication et joués en classe entière.

13.2.1.6 Caractéristiques de la topogénèse de la séance B₁ : conclusions

Les principales caractéristiques de la topogénèse pour la séance B₁ sont :

- la topogénèse est du côté des élèves quand l'organisation sociale de la classe n'est pas « en classe entière » et la forme de communication est alors souvent dialogique : les nouveaux savoirs ne sont pas des enjeux des jeux d'apprentissage ou bien des perspectives contraires sont débattues ;
- quand la topogénèse est mixte, la forme de communication est le plus souvent autoritative : la référence est alors celle des savoirs scientifiques à institutionnaliser ;
- la topogénèse est majoritairement sous la responsabilité de l'enseignante dans cette séance : la forme de communication est également le plus souvent autoritative et la forme d'organisation sociale de la classe est souvent en classe entière. Ce sont principalement les épisodes de définition des jeux et d'institutionnalisation des savoirs qui sont sous la responsabilité de l'enseignante.

13.2.2 Une mésogénèse contrastée, majoritairement interactive

Comme pour l'analyse des séances précédentes, nous abordons dans cette partie l'étude de la mésogénèse du point de vue des gestes de l'enseignante pour faire évoluer le milieu.

Nous caractérisons alors la manière dont l'enseignante gère les interactions avec les élèves (13.2.2.1), les techniques qu'elle utilise préférentiellement (13.2.2.2), la manière de réguler les jeux (13.2.2.3), de les institutionnaliser (13.2.2.4) et de les dévoluer (13.2.2.5).

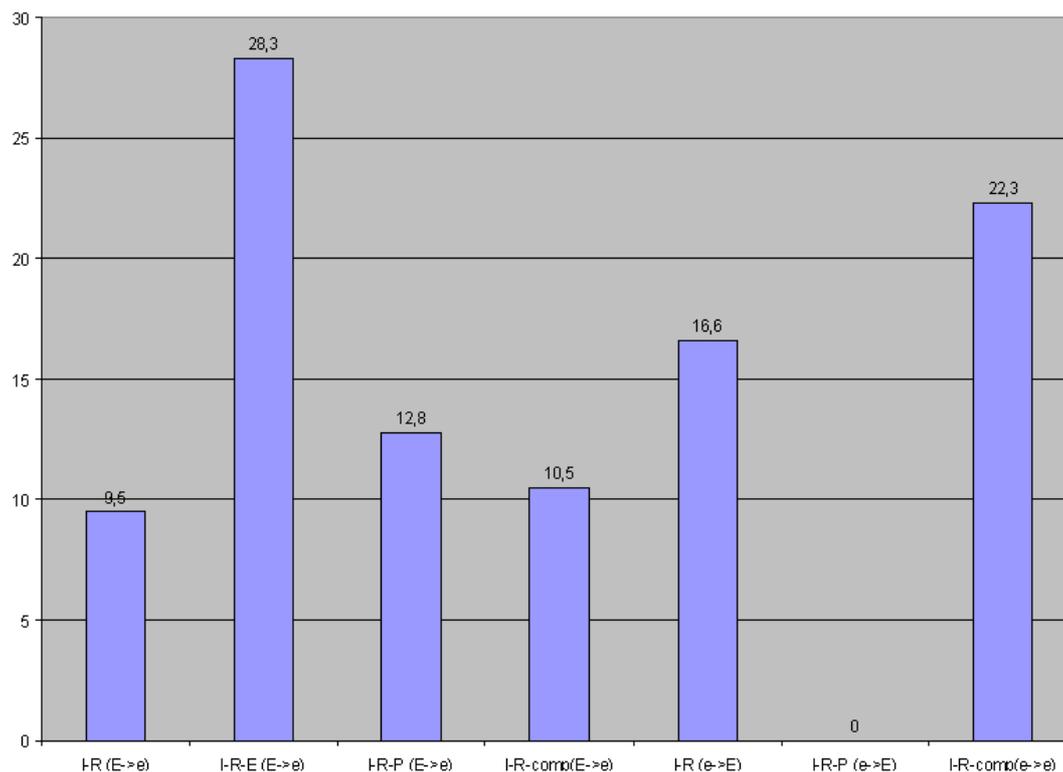
Nous concluons finalement sur les caractéristiques de la mésogénèse de la séance B₁, du point de vue de sa gestion par l'enseignante (13.2.2.6).

13.2.2.1 Les types d'interaction majoritairement de deux types : à l'initiative de l'enseignante et entre l'enseignante et les élèves ou bien entre élèves

On analyse la mésogénèse ici en décrivant les types d'interaction qui ont lieu lors de la séance, et les principaux gestes mésogénétiques qu'a l'enseignante.

Les formes de communication sont majoritairement interactives (56% du temps de la séance) dans la séance B₁.

Les types¹²⁵ que prennent les interactions sont de plus multiples (graphique n°4-B₁) :



Graphique n°4-B₁ : Répartition (en % du temps d'interaction) des types d'interaction lors de la séance B₁

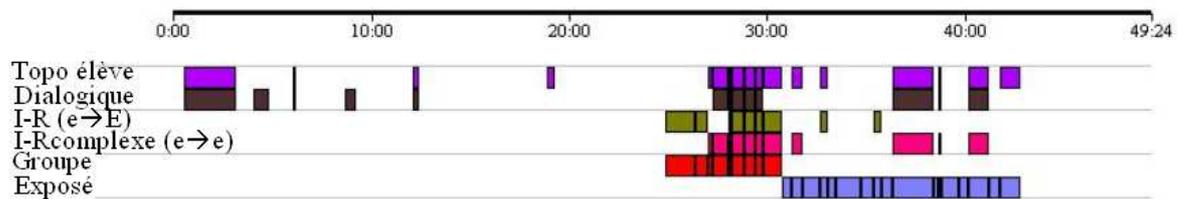
Les formes privilégiées par l'enseignante B dans les interactions sont majoritairement de type :

- I-R-E (E→e) : 28.3 % du temps d'interaction, pour lesquelles l'enseignante évalue les réponses proposées par les élèves ;
 - I-Rcomplexe (e→e) : 22.3%, pour lesquelles l'enseignante laisse les élèves échanger entre eux ;
 - I-R (e→E) : 16.6%, pour lesquelles les élèves posent des questions à l'enseignante.
- Ces formes d'interaction ont lieu quand la topogénèse est du côté des élèves.

On remarque que l'enseignante intervient dans la majorité des interactions, mais que les élèves ont une place importante dans l'initiative, puisque 38.9% des interactions sont initiées par ces derniers.

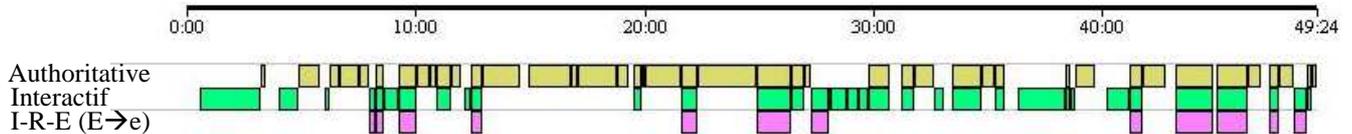
¹²⁵ Nous renvoyons le lecteur au chapitre 10 pour consulter le sens des abréviations utilisées (voir 10.3.4.2.5, p. 148)

On remarque sur le graphique n°5-B₁ que les types d'interaction I-R complexe entre élèves et I-R (e→E) ont lieu quand les élèves travaillent en groupe, que la topogénèse est du côté des élèves et que les formes de communication sont plutôt dialogiques :



Graphique n°5-B₁ : Évolution de la topogénèse élève, de la forme de communication dialogique, des types d'interaction et des formes d'organisation lors de la séance B₁

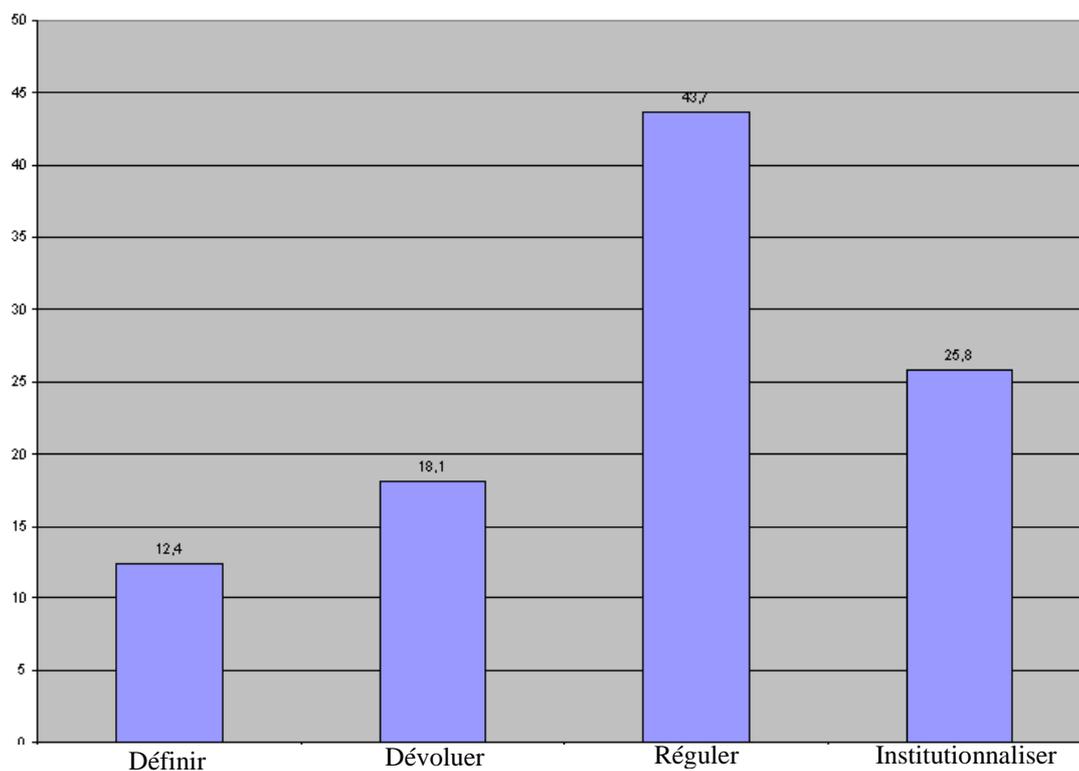
De même, on observe que le type d'interaction I-R-E (E→e) est le plus souvent associé à la forme authoritative de communication (10 sur 12 épisodes codés I-R-E (E→e)) : c'est ce que montre le graphique n°6-B₁ :



Graphique n°6-B₁ : Évolution de la forme de communication A/I et du type d'interaction I-R-E lors de la séance B₁

13.2.2.2 Les techniques didactiques « réguler » et « institutionnaliser » prédominant dans la mésogénèse

Le graphique n°7-B₁ montre la répartition dans le temps des différentes techniques didactiques utilisées par l'enseignante :



Graphique n°7-B₁ : Répartition (en % du temps de séance) des techniques didactiques lors de la séance B₁

Deux éléments nous semblent importants dans le graphique n°7-B₁ :

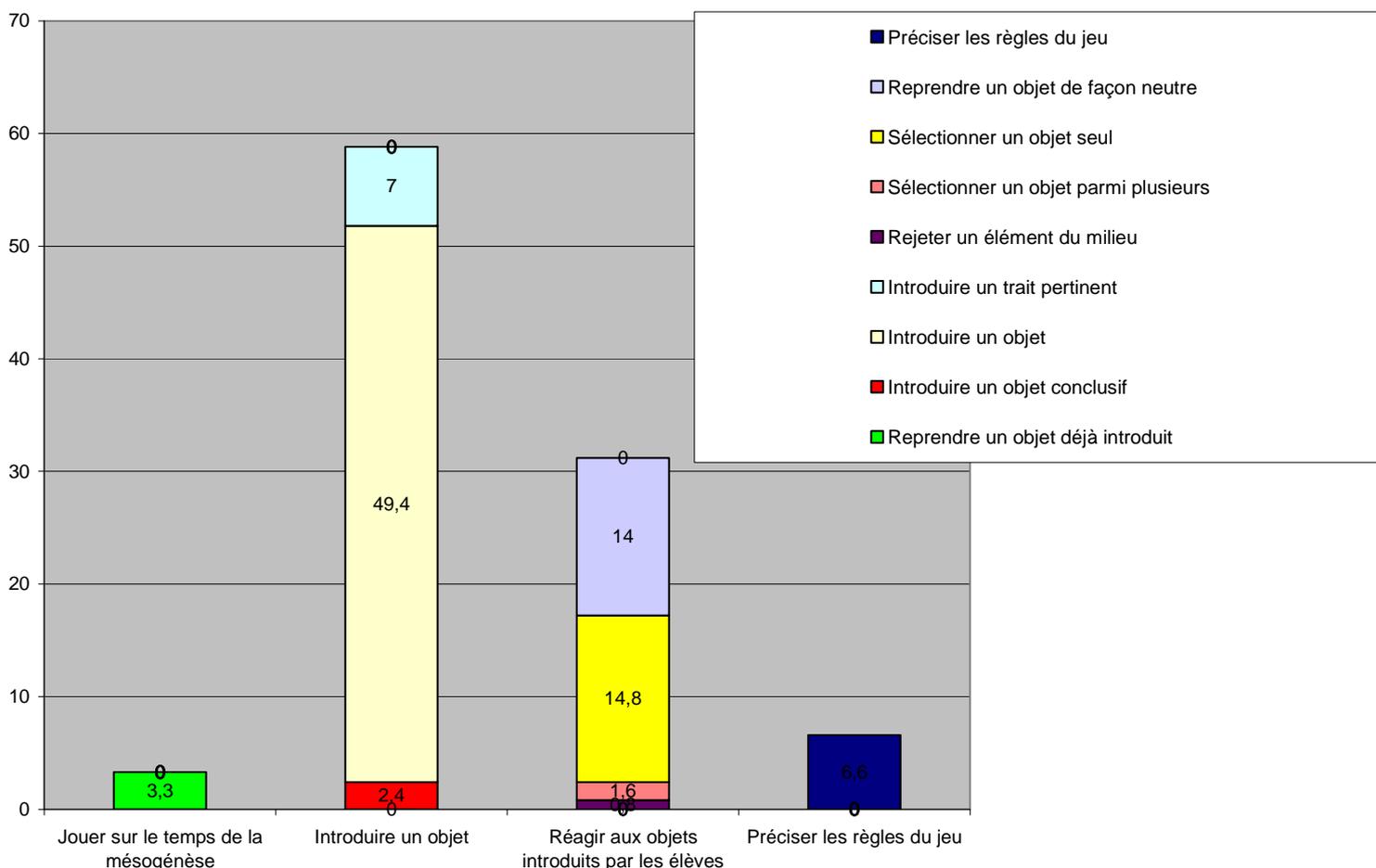
- la technique principale utilisée par l'enseignant est la régulation ;
- l'institutionnalisation est également une technique très utilisée par l'enseignante ;

Nous analysons davantage plus précisément les techniques « réguler » (13.2.2.3), « institutionnaliser » (13.2.2.4) et dévoluer (13.2.2.5) dans les paragraphes qui viennent.

13.2.2.3 L'enseignante régule le milieu en y apportant des éléments

L'enseignante B utilise une grande variété de techniques pour contrôler l'évolution du milieu et les deux principales actions sur la mésogénèse sont l'introduction d'objets dans le milieu et la réaction aux objets introduits par les élèves.

Le graphique n°8-B₁ montre la répartition des techniques de régulation utilisées par l'enseignante B lors de la séance B₁ :



Graphique n°8-B₁ : Répartition (en % du temps de la séance) des techniques mésogénétiques utilisées par l'enseignante B lors de la séance B₁

On remarque que la technique principale utilisée par l'enseignante est d'introduire des objets dans le milieu. Ses réactions face aux propositions des élèves sont multiples mais l'enseignante régule surtout en reprenant un objet introduit isolément par les élèves ou en reprenant de façon neutre un élément introduit par les élèves.

On retrouve ici le poids topogénétique de l'enseignant dans la mésogénèse : on peut interpréter cette technique majoritaire par le fait que c'est l'enseignante qui a le plus souvent la responsabilité du milieu, mais aussi parce qu'elle investit peu le milieu quand la topogénèse est du côté des élèves.

Nous développons ici deux exemples de régulation de l'enseignante B lors de la séance B₁.

Le premier est significatif du travail de groupe et d'une topogénèse du côté des élèves.

L'enseignante est sollicitée par les groupes d'élèves qui ont chacun un convertisseur d'énergie en responsabilité (jeu n°2 du thème 5 : décrire un convertisseur d'énergie en utilisant un modèle donné). L'enseignante refuse alors de répondre à leurs sollicitations, car elle considère que c'est le groupe classe en entier qui sera l'évaluateur de leur proposition [T 241-243] :

241. E :	<i>je vous réponds pas</i>
242. Cédric :	mais répondez nous sinon on va pas
243. E :	mais non mais non vous n'allez pas être ridicule parce que on va <i>c'est les copains qui vont vous répondre et après on en rediscutera</i>

La régulation est donc ici plutôt une non-régulation dans le sens où l'enseignante assume ne pas s'engager dans le travail des groupes, elle dévolue alors le jeu en encourageant les élèves « vous n'allez pas être ridicule », « c'est les copains qui vont vous répondre ». Elle introduit toutefois une idée dans le milieu : celle de son refus de répondre aux questions des élèves.

L'enseignante laisse les élèves s'exprimer et ne régule le jeu que pour inciter les autres élèves à participer au milieu [T 236, 250 et 257].

Le deuxième exemple que nous prenons est lié aux limites que l'enseignante se donne dans l'expression de sa non-participation aux jeux, toujours dans le cas d'une topogénèse du côté des élèves.

Dans le jeu n°3 (thème 6 : les formes d'énergie de plusieurs convertisseurs) qui porte sur l'exposé du groupe ayant travaillé sur le sèche-cheveux, l'enseignante introduit dans le milieu l'idée d'un remplacement du sèche-cheveux par un fer à souder [T 338-342], afin de mettre fin au débat sur les formes utiles d'énergie du sèche-cheveux, et exprime l'erreur qu'elle a faite de choisir le sèche-cheveux :

349. E :	donc j'aurai dû alors là <i>moi en tant que là enseignante</i> finalement j'aurai dû vous donner le fer à souder <i>j'aurai pas eu la cette discussion qui est intéressante mais donc on va raisonner sur le fer à souder</i> mais par contre le sèche-cheveux vos questionnements on y reviendra mais vous me montrez la limite de ce modèle là
----------	--

Elle agit ainsi conformément à l'intention qu'elle a, la discussion sur le sèche-cheveux ne l'arrange pas, elle rejette alors du milieu ce qui contrarie l'accomplissement de son intention [Post 40] :

40. E :	le but du jeu c'était de dégager les 5 formes d'énergie donc là je voulais le terme « énergie thermique »
---------	---

De plus, l'enseignante se met en posture par la formule « en tant qu'enseignante » [T 349].

L'entretien post [Post 32-36] montre que cette formulation est utilisée régulièrement par l'enseignante. Cela vient d'une formation faite sur la communication non violente. Cette mise en posture lui permet d'assumer à la « première personne du singulier » tout problème :

36. E :	(...) j'en viens à le dire en tant qu'enseignante "je" tu vois je me positionne donc après eux je les juge pas c'est juste moi voilà je suis comme ça à ce moment là et je pense que ça c'est la communication non violente je pense
---------	--

On peut interpréter cet énoncé en focalisant sur ce que l'enseignante dit de ce qu'est un enseignant. On peut en effet dire que l'énoncé « en tant qu'enseignante, j'aurai dû vous donner le fer à souder » peut aussi se dire « je suis enseignante *et pourtant* je ne vous ai pas donné le fer à souder » : si le fait de ne pas avoir donné le fer à souder pose problème, c'est dû à une défaillance dans la performance de l'enseignant. Ainsi, le débat sur le sèche-cheveux,

bien que conçu comme « intéressant » par l'enseignante, est surtout vu comme un problème, un défaut de l'enseignement.

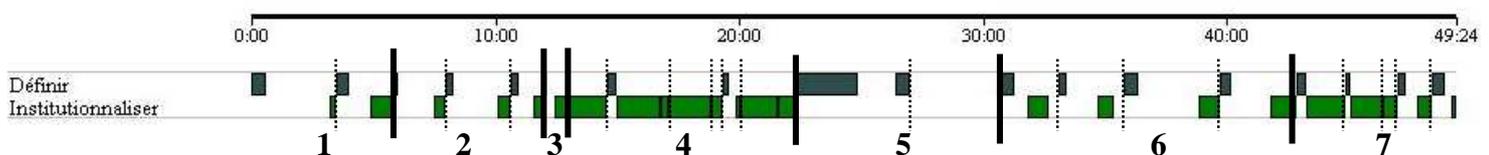
Ce que l'on peut supposer c'est que l'enseignante tout en laissant une grande autonomie d'intervention et de raisonnement à ses élèves ne transige pas avec ses intentions pédagogiques. Les élèves peuvent prendre le chemin qu'ils veulent mais ils doivent tous arriver au même point à l'arrivée : celui conçu par l'enseignante (ici l'énergie thermique).

Ce que montrent ces deux exemples, c'est que l'enseignante B négocie dans ces régulations entre les tâches qu'elle donne aux élèves (qui nécessitent pour elle d'intervenir le moins possible) et les objets d'enseignement à institutionnaliser (qui nécessitent régulation pour que les élèves parviennent à les formuler dans le milieu).

13.2.2.4 Des institutionnalisations en plusieurs temps

Nous avons vus lors du 13.2.2.2 (voir p. 280) qu'il y a de nombreux épisodes dans lesquels l'enseignant institutionnalise des savoirs.

Le graphique n°9-B₁ indique les épisodes qui donnent lieu à des définitions de jeux et à des institutionnalisations de savoirs :



Graphique n°9-B₁ : Evolution des techniques « définir » et « institutionnaliser » utilisées par l'enseignante B lors de la séance B₁

Nous observons sur le graphique n°9-B₁ deux parties :

- la 1^{ère} partie va du début du thème 1 (l'énergie dans le langage courant) jusqu'à la fin du thème 4 (la nature de l'énergie): nous remarquons alors que les épisodes à institutionnalisation sont de plus en plus longs et de plus en plus rapprochés. Il y a donc une montée en puissance de l'institutionnalisation au cours de cette partie. Ceci s'explique par un « redoublement » de l'institutionnalisation. Chaque savoir fait en effet l'objet d'un jeu, qui se finit par une institutionnalisation orale (thèmes 1 à 3), puis chacun de ces savoirs est ensuite repris successivement lors d'une mise à l'écrit (thème 4). Les thèmes 1 à 3 peuvent ainsi être qualifiés de « cours dialogué » et le thème 4 de « cours magistral » car l'enseignante dicte aux élèves.
- La 2^{ème} partie va du début du thème 5 jusqu'à la fin du thème 7 : nous remarquons ici aussi des épisodes d'institutionnalisation de plus en plus longs et de plus en plus rapprochés. Il y a dans cette partie validation progressive des savoirs avant la mise à l'écrit : tout d'abord entre élèves d'un groupe (il n'y a pas d'institutionnalisation – thème 5), puis entre groupes (il y a des institutionnalisations qui correspondent à des consensus), puis confrontation entre l'institutionnalisation des élèves et celle de l'enseignante (thème 7).

13.2.2.5 Des processus de dévolution à différentes échelles de temps, centrés surtout sur les tâches

L'enseignante utilise dans la séance B₁ différentes modalités de dévolution, que nous interprétons par la volonté d'engager les élèves dans les jeux et d'intégrer les savoirs.

- Tout d'abord, un moment important dans le processus de dévolution des jeux est interne au jeu en cours.

L'enseignante dévolute les jeux en encourageant régulièrement les élèves. C'est par exemple le cas du jeu 2 du thème 1 (l'énergie dans le langage courant, [T 37], annexes, p. 259), des jeux 1 et 2 du thème 5 (le modèle simplifié de la chaîne énergétique, [T 152], annexes, p. 266, et [T 202], annexes, p. 269), et du jeu 2 du thème 6 (les formes d'énergie de plusieurs convertisseurs d'énergie, [T 245], annexes, p. 271).

- On observe également une incursion des temps futur et passé dans les techniques de dévolution utilisées par l'enseignante B.

L'enseignante met en place des jeux dont l'objet est de participer à la dévolution des jeux qui suivent. C'est par exemple le cas des premiers jeux de la séance (thème 1) : les élèves doivent associer individuellement un mot à « énergie ». Les élèves se retrouvent alors avec un tableau rempli de mots. Ce début de séance est chargé de problématiser la séance : qui a-t-il de commun à tous ces mots ? En ce sens il sert à engager chaque élève (c'est le sens du travail individuel) dans les futurs jeux.

Elle met également en place des jeux dont le rôle est de dévoluer des tâches qui ne sont pas l'objet de la séance. Par exemple, le jeu n°2 du thème 2, qui porte sur l'utilisation des mathématiques en physique (conceptualisation) est justifié par l'enseignante en rapport avec le peu d'intérêt des élèves pour les pratiques mathématiques [Ante 90 - 136] :

90. E :	oui et un peu et un peu de leur dire que c'est bien de parler mais un moment aussi voila il y a des maths <i>on en a besoin l'outil mathématique on en a besoin</i> enfin tu vois un peu aussi rapporter ça <i>parce qu'ils peuvent être très intéressé à la discussion mais après aussi il faut passer à la phase exercice application définition et bon là c'est des maths quand même</i> et donc voila pour essayer un peu de parler de ça à ce moment là
(...)	
136. E :	mais alors moi <i>c'est des gamins qui ont énormément de blocage avec les maths</i> souvent mais moi je ne cesse de leur dire que sans les maths enfin que <i>les maths sont un outil que nous on va appliquer</i>

Elle renforce également le lien entre mathématiques et physique en introduisant des éléments vus dans des séances antérieures, comme les notions de force et de poids, lors des jeux n°2 du thème 2 (définir une force) et n° 5 du thème 4 (rappeler les caractéristiques du vecteur poids).

Ces différentes modalités de la dévolution ont en commun d'inscrire la mésogénèse dans un rapport au temps qui n'est pas forcément celui du jeu :

- une dévolution à l'échelle du jeu pour que les élèves s'y projettent ;
- une dévolution de jeux futurs, qui participe déjà à préparer la mésogénèse à venir ;
- une dévolution, qui intègre des jeux passés dans la mésogénèse présente ;

Nous interprétons ce rapport au temps de ces différentes modalités de dévolution comme participant à l'intégration des savoirs, indépendamment de l'enjeu de savoir proprement dit du jeu en cours. En effet, la problématisation, la conceptualisation, le rappel d'éléments passés dans d'autres séances sont autant de gestes qui permettent de donner un sens aux savoirs, hors des temps des jeux d'apprentissage dont ils sont spécifiquement l'objet.

13.2.2.6 Caractéristiques de la mésogénèse, vue depuis les gestes de l'enseignant, de la séance B₁ : conclusions

Les principales caractéristiques de la mésogénèse pour la séance B₁ sont :

- les interactions sont majoritairement de 2 types dans la séance : entre élèves ou à l'initiative des élèves quand la topogénèse est du côté des élèves avec une forme d'organisation de la classe en groupe ou sous forme d'exposé ; entre l'enseignante et les élèves (I-R-E), quand la topogénèse est sous la responsabilité de l'enseignante ;
- l'enseignante introduit davantage d'objets que les élèves dans le milieu mais ne réagit pas aux objets introduits par les élèves quand la topogénèse est sous la responsabilité des élèves ;
- les épisodes d'institutionnalisation accélèrent au cours de deux parties distinctes (thèmes 1-4 et thèmes 5-7), avec une intégration progressive des savoirs pour la première partie et des tâches dévolues aux élèves dans la deuxième partie ;
- Différentes modalités de dévolution participent à l'intégration des savoirs, à l'intérieur des jeux d'apprentissage, mais aussi à l'échelle d'une succession de jeux.

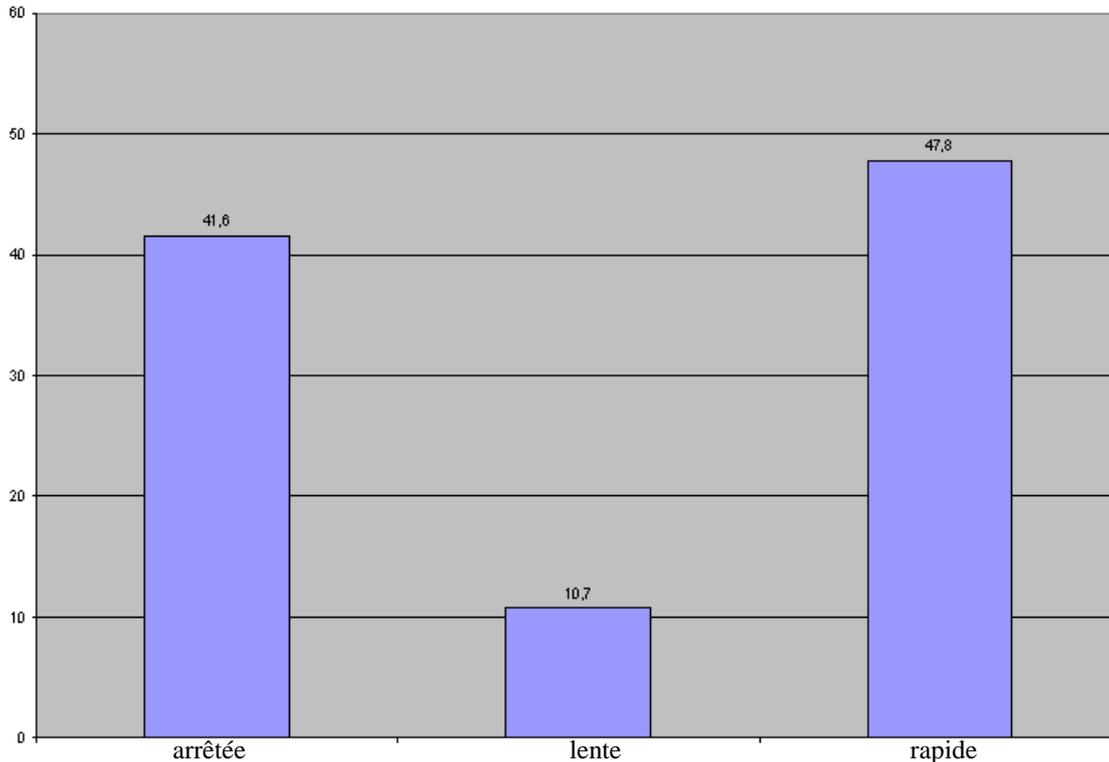
13.2.3 Une chronogénèse « intégrative » d'énoncés majoritairement grammaticaux

Nous caractérisons dans cette partie la chronogénèse en décrivant le rythme d'évolution du milieu (13.2.3.1) et l'évolution des types d'énoncés qui sont l'enjeu des jeux (13.2.3.2).

13.2.3.1 Une chronogénèse « intégrative »

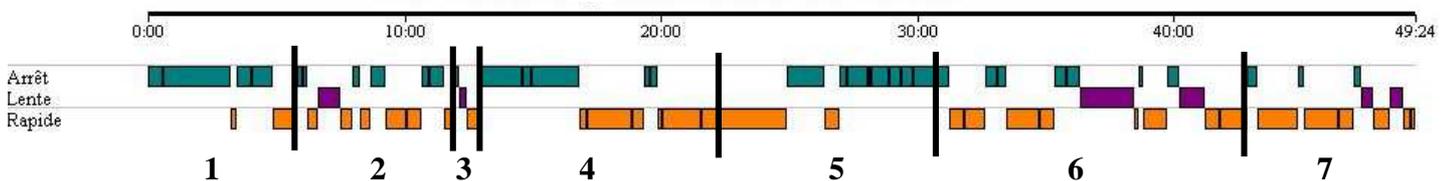
Le graphique n°10-B₁ montre la répartition en temps des différentes modalités de la chronogénèse.

On remarque ainsi qu'il y a un relatif équilibre entre la chronogénèse rapide (47.8% du temps de la séance) et arrêtée (41.6% du temps de la séance), mais par contre la chronogénèse lente est peu présente (10.7% du temps de la séance).



Graphique n°10-B₁ : Répartition de la chronogénèse (en % du temps de la séance) lors de la séance B₁

Nous pouvons préciser cette répartition en nous intéressant à l'évolution des descripteurs liés à la chronogénèse lors de cette séance : c'est ce que montre le graphique n°11-B₁ :



Graphique n°11-B₁ : Evolution de la chronogénèse lors de la séance B₁

Nous commentons deux parties du graphique précédent :

- du début du thème 1 (l'énergie dans le langage courant) jusqu'à la fin du thème 4 (la nature de l'énergie).

Le thème 4 consiste en la mise à l'écrit des trois premiers thèmes. On retrouve ainsi la chronogénèse arrêtée du thème 1 (l'énergie dans le langage courant) dans le thème 4. Les savoirs des jeux des thèmes 2 et 3 se retrouvent dans l'institutionnalisation écrite des jeux du thème 4 et la chronogénèse qui est « morcelée » dans les thèmes 2 et 3 est alors « continue » lors du thème 4.

On peut interpréter la chronogénèse dans les quatre premiers thèmes comme une chronogénèse qui « intègre » et dont la continuité dépend de la reprise des savoirs vus précédemment.

- du début du thème 5 (le modèle simplifié de la chaîne énergétique) jusqu'à la fin de la séance.

Le thème 5 consiste en l'utilisation par les élèves d'un modèle de chaîne énergétique donné par l'enseignante, afin de l'appliquer à des objets matériels. La chronogénèse est alors arrêtée pendant le travail des groupes. Dans le thème 6 (les formes d'énergie de plusieurs

convertisseurs d'énergie), les élèves des groupes exposent successivement l'usage qu'ils ont fait du modèle sur l'objet qui leur était confié : la chronogénèse est alors « morcelée » car la chronogénèse est arrêtée (quand le groupe expose), lente (quand il y a débat) et rapide (quand il y a consensus à l'échelle de la classe). Dans le dernier thème (les formes d'énergie : une classification), la chronogénèse est majoritairement rapide car l'enseignante institutionnalise les savoirs en jeu (les formes d'énergie), en commentant les résultats obtenus au thème 6.

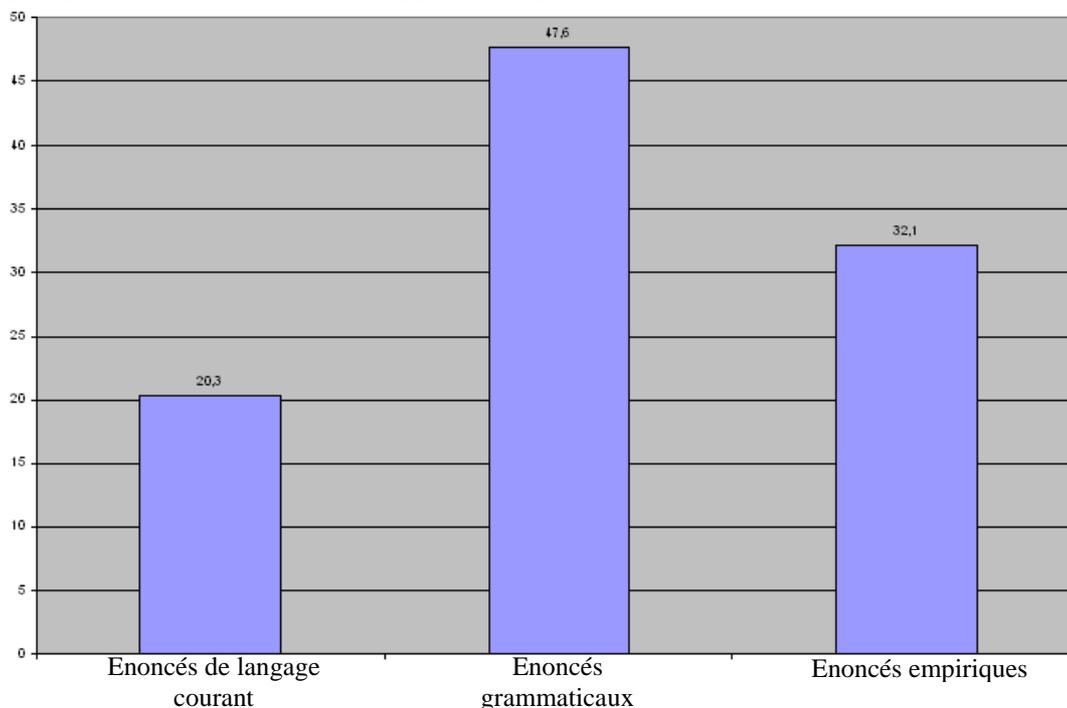
On peut donc interpréter l'évolution de la chronogénèse ici aussi comme une chronogénèse qui « intègre » dans le sens où les jeux successifs intègrent en leur sein, non seulement les savoirs qui ont été les enjeux des jeux précédents mais le mécanisme des jeux eux-mêmes. Cette « intégration » apparaît alors dans le graphique n°11-B₁ comme l'évolution d'une chronogénèse d'abord arrêtée, puis morcelée et finalement qui gagne en continuité et en rapidité.

Nous qualifions alors la chronogénèse dans cette séance d'« intégrative » pour caractériser une chronogénèse, qui reprend les jeux précédents, à travers les savoirs enjeux des jeux ou bien à travers les mécanismes du jeu, pour construire une institutionnalisation « intégrée ».

13.2.3.2 Un enseignement d'énoncés majoritairement grammaticaux

Comme dans les analyses précédentes, nous avons catégorisé les types d'énoncés qui caractérisent l'enjeu des jeux joués en énoncés de langage courant et énoncés scientifiques (de type grammatical ou empirique).

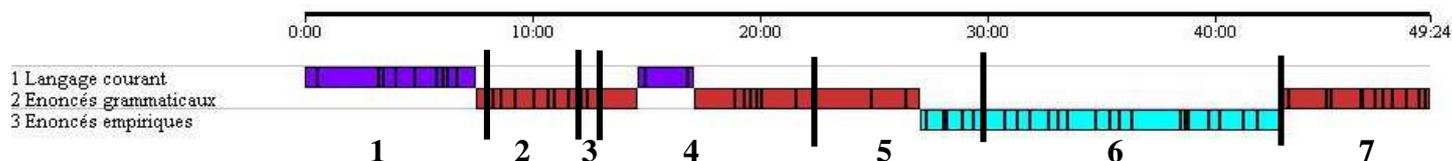
Nous rendons compte dans le graphique n°12-B₁ de la répartition des types d'énoncés (en % du temps) qui sont l'objet de jeux d'apprentissage lors de la séance B₁ :



Graphique n°12-B₁: Répartition des types d'énoncés (en % du temps de la séance) lors de la séance B₁

Nous observons donc à partir du graphique n°12-B₁ que la majorité des énoncés scientifiques qui sont l'enjeu d'un jeu sont dans cette séance de type grammatical.

Le graphique n°13-B₁ indique l'évolution dans la séance de ces descripteurs :



Graphique n°13-B₁ : Evolution de la répartition des types d'énoncés au cours de la séance B₁

Nous observons dans le graphique n°13-B₁ que :

- une première partie de la séance consiste au passage des énoncés de langage courant aux énoncés grammaticaux (thème 1 jusqu'au thème 5).

La séance commence en effet par l'explicitation de différents usages du mot « énergie » puis ce sont les savoirs liés à l'énergie qui sont enjeux des jeux. Le thème 4 reprend les jeux précédents et les énoncés de langage courant sont à nouveau « mis en jeu » lors de l'institutionnalisation écrite. On remarque toutefois que les énoncés de langage courant sont majoritaires en début de séance puis jusqu'au thème 5, les savoirs sont très majoritairement les savoirs conceptuels de l'énergie.

- la deuxième partie de la séance est structurée majoritairement sur des énoncés empiriques, qui correspondent aux jeux joués en groupe (thèmes 5 et 6) où les élèves doivent par groupe modéliser les conversions d'énergie d'objets matériels différents et proposer leur raisonnement au reste de la classe et se termine par des énoncés grammaticaux (thème 7), qui relèvent de l'institutionnalisation des noms utilisés pour décrire les différentes formes d'énergie.

13.2.3.3 Caractéristiques de la chronogénèse de la séance B₁ : conclusions

Les principales caractéristiques de la chronogénèse pour la séance A₂ sont :

- la séance est une succession de jeux à chronogénèse intégrative;
- les énoncés grammaticaux sont majoritaires ;
- il y a 2 parties dans la séance : une première partie consiste au passage des énoncés de langage courant aux énoncés de type grammatical ; la deuxième partie consiste au passage d'énoncés grammaticaux aux énoncés de type majoritairement empirique. La fin de séance consiste à nouveau en des énoncés grammaticaux.

13.2.4 Conclusions

Une topogénèse majoritairement sous la responsabilité de l'enseignante, discontinue sur la séance et liée aux types d'énoncés enjeux des jeux d'apprentissage

L'action conjointe prend successivement deux formes différentes dans la séance B₁.

La première partie de la séance consiste au passage des énoncés de langage courant aux énoncés de type grammatical (thèmes 1-4) : la topogénèse passe alors progressivement de la responsabilité des élèves à celle de l'enseignante. Les interactions sont majoritairement de type I-R-E et l'organisation de la classe « en classe entière ».

La deuxième partie de la séance consiste à passer d'énoncés grammaticaux aux énoncés de type majoritairement empirique (thèmes 5-6) : la topogénèse passe alors progressivement de la responsabilité de l'enseignante à celle des élèves. Les interactions sont majoritairement de type I-R complexe entre élèves et l'organisation de la classe « en groupe » ou « en exposé de groupes ». La topogénèse repasse alors sous la responsabilité de l'enseignante en fin de séance, quand l'organisation sociale de la classe revient « en classe entière » et que les énoncés grammaticaux sont à nouveau les enjeux des jeux d'apprentissage (thème 7).

Nous observons donc dans cette séance que la topogénèse est du côté des élèves quand l'organisation sociale de la classe est en groupe ou en exposé de groupe et la forme de communication est alors souvent dialogique : ce sont alors des énoncés empiriques ou de langage courant qui sont les objets des jeux d'apprentissage.

Quand la topogénèse est mixte, la forme de communication est le plus souvent autoritative : la référence est alors celle des savoirs scientifiques à institutionnaliser.

La topogénèse est majoritairement sous la responsabilité de l'enseignant dans cette séance : la forme de communication est également le plus souvent autoritative et la forme d'organisation sociale de la classe est souvent en classe entière. Ce sont principalement les épisodes de définition des jeux et d'institutionnalisation des savoirs qui sont sous la responsabilité de l'enseignant.

Une mésogénèse majoritairement interactive, et contrastée sur la séance

Les interactions sont majoritairement de 2 types dans la séance : entre élèves ou à l'initiative des élèves quand la topogénèse est du côté des élèves avec une forme d'organisation de la classe en groupe ou sous forme d'exposé ; entre l'enseignante et les élèves (I-R-E), quand la topogénèse est sous la responsabilité de l'enseignante. L'enseignante introduit davantage d'objets que les élèves dans le milieu mais ne réagit pas aux objets introduits par les élèves quand la topogénèse est sous la responsabilité des élèves.

Les épisodes d'institutionnalisation s'accroissent au cours des 2 parties de la séance (thèmes 1-4 et thèmes 5-7), avec une intégration progressive des savoirs pour la première partie et des tâches dévolues aux élèves dans la deuxième partie. L'enseignante intègre anciens et nouveaux savoirs en jouant sur des échelles de temps de la dévolution : dévolution centrée sur les savoirs vus antérieurement et centrée sur les tâches futures.

Une chronogénèse intégrative d'énoncés majoritairement grammaticaux

Cette intégration est de plus effectuée au niveau des jeux d'apprentissage de la séance, par la forme « intégrative » de la chronogénèse. En effet, les savoirs enjeux des jeux des thèmes 1 à 3 sont repris dans les jeux du thème 4. Les jeux des thèmes 5 sont intégrés aux jeux du thème 6, qui sont eux-mêmes intégrés à la structure des jeux du thème 7. Cette architecture fait que les jeux successifs sont repris, en termes d'enjeux de savoirs mais aussi de tâches d'élèves, et participe selon nous à intégrer et à articuler les savoirs.

13.3 La nature des savoirs enseignés

Nous complétons l'analyse précédente en analysant les jeux de langage qui sont joués lors de la séance B₁. Il s'agit alors d'affiner la description de la mésogénèse et de la chronogénèse en nous intéressant à la nature des savoirs enseignés.

Nous structurons notre analyse en spécifiant la nature et la fonction des différents types d'énoncés. Nous étudierons donc successivement :

- les énoncés de langage courant (13.3.1) ;
- les énoncés grammaticaux (13.3.2) ;
- les énoncés empiriques (13.3.3).

13.3.1 Des énoncés de langage courant pour problématiser

Nous avons vu lors précédemment que les énoncés de langage courant sont présents dans cette séance en début de séance (voir 13.2.3.2, p. 287). De plus, ce début de séance, sous la responsabilité des élèves, sert à dévoluer les jeux suivants (voir 13.2.2.5, p. 284). Nous nous intéressons ici à analyser les premiers jeux de la séance pour affiner notre compréhension de l'action conjointe.

L'enseignante commence par définir le premier jeu :

1. E :	(...) alors l'énergie donc je vais vous poser une question très simple je vais vous demander d'associer un mot un terme ce qui vous vient la première chose qui vous vient à l'esprit lorsque je vous parle d'énergie le mot énergie à quel type de mots vous l'associez (0 :34)
--------	--

Le but du jeu consiste ainsi à laisser les élèves s'exprimer sur l'énergie. Une élève est chargée de noter aux tableaux les propositions des élèves. Aucune autre règle ne leur est donnée.

Ces derniers introduisent alors dans le milieu les mots : force, solaire, chaleur, vent, hydraulique, motrice, électricité, lumière, hydrocarbures, cinétique, générateur, nucléaire.

Nous avons vu en (voir partie 13.2.1.3, p. 275) que nous pouvions classer en 2 catégories les mots proposés par les élèves :

- le registre courant ;
- le registre lié plus spécifiquement à la physique ;

Nous pouvons dire que 2 jeux de langage sont joués : un jeu ayant pour référence l'usage courant du mot et un jeu lié au fait qu'ils soient en cours de physique.

L'enseignante institutionnalise alors son étonnement [T 35] :

35. E :	(3:12) alors je suis assez surprise voyez parce que l'énergie en général dans le vous êtes assez techniques je vais dire vous êtes déjà vous raisonnez en physicien (3 :26)
---------	---

On retrouve les deux registres dans l'institutionnalisation orale que fait l'enseignante du jeu. En effet, « vous êtes assez techniques » réfère plutôt au registre du langage courant, où ces mots peuvent être associés aux techniques issues des sources renouvelables d'énergie (barrages *hydrauliques*, éoliennes avec le vent, pompe à *chaleur*, panneaux *solaires* par exemple) ou bien aux centrales *nucléaires*, qui sont des techniques de production d'*électricité*. De plus, les élèves « raisonnent en physicien » en introduisant des mots spécifiques au registre de la physique. Ils sont de plus identifiés à une communauté : par leur « raisonnement », ils appartiennent à la communauté des « physiciens ».

Les mots utilisés par les élèves ne correspondent donc pas à ceux attendus par l'enseignante. Celle-ci prévoyait en effet un registre dans lequel l'énergie renvoie à tonus, vivacité, etc.. Elle précise alors un nouveau contexte d'usage du mot et définit par là un nouveau jeu, cette fois joué en classe entière :

35. E :	je m'attendais mais c'est pas grave je m'attendais aussi à d'autres associations l'énergie dans la vie courante quand vous faites du sport quand vous
(...)	
37. E :	(...) j'aurais dû vous poser la question dans la cour si on vous dit si on vous parle d'énergie dans la cour qu'est-ce qui vous vient (4 :01)

On remarque donc que le changement de contexte fait que le jeu de langage change. C'est ainsi le contexte de référence d'usage du mot (la vie courante où l'énergie est utilisée comme source d'énergie, le cours de physique, ou la cour du lycée) qui lui donne sa signification.

L'enseignante justifie dans l'entretien ante [Ante 66] sa volonté de partir de la vie courante des élèves :

66. E :	(...) oui je pars toujours j'essaie de partir soit de ce qu'ils ont vu soit de ce qu'ils connaissent dans la vie courante
---------	---

Lors de l'institutionnalisation orale du deuxième jeu, l'enseignante revient alors sur les deux registres de langage [T 51] :

51. E :	(...) donc peut être que se dégagent là un peu <i>deux thèmes deux idées</i> on a à la fois discuté <i>l'énergie dans le langage courant</i> avec un peu le tonus la vivacité vous m'avez dit les vitamines le qu'est-ce qu'on a dit encore la vitesse on parle on l'a dit un peu dépenser de l'énergie faire attention à son énergie en garder en garder pour justement se préparer peut-être à un exploit sportif ou autre chose et puis il y a des termes déjà de je vous ai dit <i>vous avez raisonné déjà un peu en physicien</i> avec lorsque je vois hydraulique motrice j'ai vu cinétique générateur donc là on a déjà une vision un peu physique de l'énergie
---------	--

Si l'enseignante institutionnalise la différence entre deux jeux de langage joués, elle indique implicitement son objectif pour la séance. En effet, les élèves « [raisonnent] *déjà un peu en physicien* », autrement dit elle indique que les élèves ont déjà accompli un peu de l'objectif de la séance avant la leçon proprement dite, c'est donc que l'objectif de la séance est de faire raisonner les élèves en physicien, c'est-à-dire à l'aide des outils de la physique.

Les énoncés exprimés dans ces deux jeux sont décrits comme étant de langage courant, car les savoirs scientifiques ne sont pas l'enjeu de ces jeux : il s'agit pour l'enseignante de problématiser le contenu de la séance, l'énergie, à travers différents usages de la vie quotidienne.

13.3.2 L'enseignement d'énoncés grammaticaux : la construction d'une syntaxe épistémologique explicite

Nous avons vu en 13.2.3.2 que les énoncés grammaticaux, en tant qu'enjeux des jeux d'apprentissage, sont majoritaires dans la séance B₁. Nous analysons ici la nature de ces énoncés, en analysant plusieurs jeux de la séance et en structurant notre exposé d'un point de vue chronogénétique. Les énoncés grammaticaux analysés concernent :

- l'intégration de l'énergie dans un réseau conceptuel (13.3.2.1) ;
- le concept, défini comme un rapport entre physique et mathématiques (13.3.2.2) ;
- le modèle de la chaîne énergétique (13.3.2.3) ;

Nous concluons alors sur la nature et la fonction de ces énoncés grammaticaux (13.3.2.4).

13.3.2.1 L'intégration de l'énergie dans un réseau conceptuel

Le premier jeu du thème n°2 (consacré à la définition de l'énergie) fait le lien entre l'usage courant et la définition scientifique de l'énergie.

L'enseignante propose alors aux élèves de définir l'énergie [T 51] :

51. E :	(...) alors pour vous maintenant je vais vous poser une question elle est difficile je vous le dis comment vous définiriez l'énergie est-ce que vous auriez une définition à me donner allez qui se lance (6 :02)
---------	---

Une élève propose une définition [T 52] mais les autres élèves ne proposent rien, ce qui oblige l'enseignant à commenter le silence :

53. E :	(...) votre blanc m'intéresse ça m'intéresse beaucoup il est allez qui c'est qui veut se lancer un peu mais <i>c'est intéressant je vais vous dire pourquoi parce que l'énergie c'est quand même quelque chose de très difficile à définir et le fait que vous me répondiez pas va pas me contredire</i> pourquoi c'est difficile à définir à votre avis (6 :38)
---------	--

L'enseignante dévolue alors le jeu en précisant les règles et en s'impliquant : « le fait que vous me répondiez pas va pas me contredire » : « c'est intéressant » car « l'énergie c'est quand même quelque chose très difficile à définir ».

Plusieurs éléments permettent d'interpréter le silence des élèves.

Tout d'abord, le jeu précédent a en quelque sorte réfuté la possibilité d'une référence univoque, une définition de l'énergie est impossible : tous les mots proposés par les élèves dans l'épisode précédent ont un « air de famille » dans le sens où tous peuvent être associés à l'énergie mais la plupart de manière différente. Qu'y a-t-il de commun en effet entre « nucléaire » et « vitamine », hormis le fait que ces deux mots peuvent être référés à « énergie » ?

Des élèves expliquent alors la difficulté qu'ils ont à définir l'énergie [T 54-68] :

54. Mickaël :	<i>c'est vaste</i>
55. Paul :	parce que c'est vaste
56. E :	c'est vaste oui d'autres choses
57. Cindy :	<i>c'est pas quelque chose de matériel</i>
58. E :	c'est pas quelque chose de matériel ça c'est pas mal
59. Mickaël :	non c'est
60. Clément :	<i>parce qu'il y en a plusieurs</i>
61. E :	il y en a plusieurs alors le fait que ce soit pas quelque chose de matériel c'est-à-dire
62. Guillaume :	on peut pas la toucher c'est pas concret
63. Cindy :	<i>c'est pas un objet</i>

Les élèves expriment leur difficulté à donner une définition à l'énergie par le fait que ce terme ne peut être associé de manière unilatérale à un objet matériel : on ne peut pas montrer ni désigner l'énergie : « c'est vaste » [T 54], « il y en a plusieurs » [T 60].

Des élèves proposent ainsi comme explication : « c'est pas quelque chose de matériel » [T 57], « on peut pas la toucher, c'est pas quelque chose de matériel » [T 57], « on peut pas la toucher c'est pas concret » [T 62], « c'est pas un objet » [T 63].

L'enseignante rebondit sur le fait qu'on ne puisse pas toucher l'énergie pour avancer un « coup » dans le jeu joué :

64. E :	<i>bravo c'est pas concret on peut pas la toucher est-ce qu'on la voit</i>
65. Guillaume :	non plus
66. E :	non plus par contre qu'est-ce qu'on voit
67. Collectif :	XXXXXX
68. Paul :	ce qu'elle produit
69. E :	oui ce qu'elle ses effets c'est-à-dire qu'on voit les effets qu'elle a mais effectivement on ne la voit pas alors parlez moi des effets que vous pouvez voir quels types d'effets peut produire une énergie

Ce « coup » permet à la fois à l'enseignante d'abstraire l'énergie (« bravo ce n'est pas concret » [T 64]) et de faire un retour au concret : « montrer » l'énergie par la vision de ses effets. En ce sens, elle établit un « air de famille » avec la notion de force et s'inscrit dans l'usage que fait la physique du mot.

Dans la formulation « on voit les effets », l'enseignante lie l'énergie à un phénomène. Le mot phénomène a en effet été introduit au XVI^{ème} siècle par les astronomes pour décrire « ce qui apparaît aux yeux ». L'enseignante demande ensuite aux élèves des exemples de « phénomènes » : « l'éolienne qui tourne », « la lumière », « un déplacement » [T 70-73].

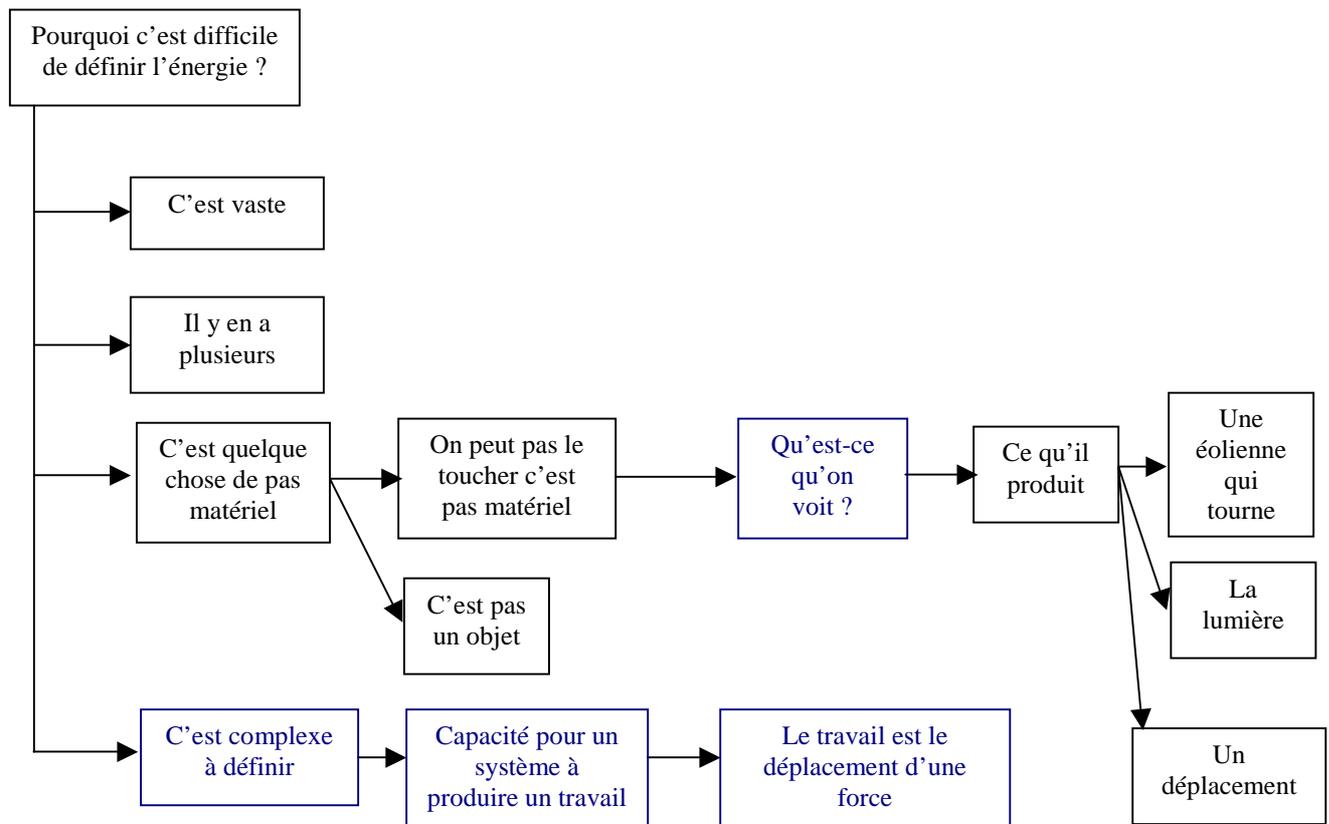
L'enseignante peut alors institutionnaliser un savoir [T 74] :

74. E : une lumière un déplacement oui tout ça c'est ça (07 :30) donc effectivement voyez vous avez vraiment touché du doigt *c'est quelque chose de difficile à définir alors les physiciens l'ont défini d'accord les physiciens l'ont défini et ils ont défini ça comme étant une capacité pour un système à produire un travail le travail lui c'est aussi quelque chose pas facile à définir les physiciens le définissent comme un déplacement d'une force*

L'enseignante rattache pour la première fois explicitement le mot « énergie » à ce qu'en disent les physiciens, en introduisant un autre concept, celui de travail.

On peut interpréter cette première occurrence du rôle de la physique : « [l'énergie] est difficile à définir, alors les physiciens l'ont définie ». Cet énoncé est quelque peu paradoxal car une phrase banale aurait plutôt été : « [l'énergie] est difficile à définir, *et pourtant* les physiciens l'ont définie ». Ici l'énoncé peut se lire comme « [l'énergie] est difficile à définir, *donc* les physiciens l'ont définie ». L'image donnée de la physique est alors que son objet est de s'attaquer à des problèmes difficiles.

Nous synthétisons le jeu dans le schéma mésogénétique suivant :



L'objet de ce jeu est donc de passer d'un usage courant du mot « énergie » à une définition. Cette définition est institutionnalisée comme étant complexe. Le nœud est alors résolu par l'enseignante en rappelant cette complexité, en la fondant dans l'abstraction (« c'est pas

concret » [T 64]), en ancrant cette abstraction dans le réel (« *par contre* qu'est-ce qu'on voit ? [T 66]) et finalement en introduisant dans le milieu un autre concept (le travail), qui inscrit l'énergie dans un rationalisme.

Nous notons de plus que cette approche de l'énergie est en contradiction avec le référentiel de formation de la filière STAV. En effet, celui-ci stipule que l'énergie doit être abordée par son principe de conservation, et non par le travail.

Une nouvelle sémantique est introduite dans les jeux précédents, qui a pour intention de donner un sens physique à l'énergie : la notion de force, déjà vue dans les classes antérieures, est ainsi reliée à un nouveau terme, celui de travail, qui permet une définition de l'énergie. Autrement dit, à une notion connue est intégrée la notion qui est l'objet d'enseignement : on a donc ici la modification d'un réseau conceptuel déjà formé, celui de force, par l'intégration de deux nouvelles notions, le travail et l'énergie, ce qui introduit à la fois une nouvelle vision de ce qu'est la force, et la vision nouvelle de l'énergie.

13.3.2.2 Le concept, défini comme un rapport de la physique et des mathématiques

Lors du thème n°2 sur la définition de l'énergie, l'enseignante mobilise plusieurs fois le mot concept. L'énergie est de plus institutionnalisée comme étant un concept lors du passage à l'écrit qu'est le thème n°4 (la nature de l'énergie).

Nous analysons ici les jeux 2 et 3 du thème n°2 et le jeu 4 du thème n°4.

Le jeu précédent (n°1 du thème 2) s'est terminé par une définition de l'énergie comme « capacité à produire du travail » et le travail est défini comme « le déplacement d'une force » [T 74].

L'enseignante définit alors le jeu n°2 en focalisant sur la notion de force [T 74-78] :

74. E	alors ce mot force je crois que quelqu'un l'a dit non dans les termes
75. Cindy :	c'est moi
76. E :	oui t'as été la première <i>qu'est-ce que c'est ce mot force ?</i> est-ce que vous avez déjà rencontré le terme force dans votre scolarité ?
77. Collectif :	oui
78. E :	alors <i>dites moi qu'est-ce que c'est ? comment vous le définiriez ? (8:15)</i>
79. Didier :	un vecteur
80. Guillaume :	ouais
81. E :	vecteur immédiatement vous l'associez à un vecteur ce qui est tout à fait juste <i>alors pourquoi l'associe-t-on à un vecteur ? ben tout simplement parce que la force on est dans le même cas que l'énergie est-ce qu'on la voit ?</i>
82. Jérémy :	non
83. E :	<i>non par contre ses effets enfin oui l'effet que peut produire une force on peut le voir (8:38)</i> donnez moi un exemple l'année dernière vous avez vu un type de force que vous avez travaillé
84. Guillaume :	la force motrice la force motrice non
85. E :	force motrice c'est pas à ça que je pensais mais dis en moi un peu plus peut-être
86. Mickaël :	la traction
87. E :	la force de traction c'était ça Guillaume un exemple quel schéma ou quelle situation ou bien en fait
88. Jérémy :	avec une voiture qui tire une remorque
89. E :	la voiture qui tire une remorque donc effectivement la voiture exerce une force de traction sur la remorque ce déplacement là on le voit d'accord (9:13) et <i>la force exercée on l'a en fait on a décidé c'est des mathématiciens on s'est mis en accord avec les mathématiciens on a décidé de la symboliser par une flèche d'accord ce que tu as appelé le vecteur (...)</i>
(...)	

98. E :	alors le sens la direction c'est le point d'application le départ à quel moment où est-ce que vous partez pour dessiner votre flèche (10 :04) donc voyez ce ce tout ça <i>tous ces outils mathématiques en fait ils sont là pour essayer d'expliquer un phénomène que l'on ne voit pas mais par contre un phénomène dont on voit les effets okay donc l'outil mathématique là il va nous aider justement à pouvoir décrire toutes ces toutes ces situations là donc tout ce qui est de l'ordre de l'énergie, du travail, de la force ce sont des choses qui sont abstraites mais qu'on va essayer d'expliquer grâce à l'outil mathématique on parle de concept (10 :39)</i>
---------	---

Dans ce jeu, l'enseignant régule principalement le milieu en articulant deux jeux de langage (A) et (B).

Le jeu de langage A est joué par l'enseignante. Sa structure est la forme suivante :

(1) La force est analogue à l'énergie [T 81]

81. E : (...) la force on est dans le même cas que l'énergie (...)

or

(2) La force est symbolisée mathématiquement [T 89]

89. E : (...) on s'est mis en accord avec les mathématiciens on a décidé de la symboliser par une flèche d'accord ce que tu as appelé le vecteur (...)

donc

(3) Les mathématiques servent à décrire l'énergie [T 98]

98. E : tout ce qui est de l'ordre de l'énergie, du travail, de la force ce sont des choses qui sont abstraites mais qu'on va essayer d'expliquer grâce à l'outil mathématique

Le jeu de langage B, auquel jouent les élèves, consiste à arriver à (1) en proposant le mot « vecteur » comme définition de la force, à donner un exemple de force entre (1) et (2) et à rappeler les propriétés d'un vecteur entre (2) et (3).

Autrement dit, le jeu de langage (B) est focalisé sur la notion de force alors que le jeu (A) fait le lien entre physique et mathématiques, en s'appuyant sur la notion de force mais en l'intégrant à une notion plus vaste, qui réunit force, travail et énergie : celle de concept.

L'enseignant se sert ainsi du jeu B, avec l'exemple de la force pour faire avancer le jeu A. Ce jeu d'apprentissage a alors pour intention, à travers le jeu de langage (A) de dévoluer l'utilisation des mathématiques en physique [Ante 90 - 136] :

90. E :	oui et un peu et un peu de leur dire que c'est bien de parler mais un moment aussi voilà il y a des maths <i>on en a besoin l'outil mathématique on en a besoin enfin tu vois un peu aussi rapporter ça parce qu'ils peuvent être très intéressé à la discussion mais après aussi il faut passer à la phase exercice application définition et bon là c'est des maths quand même</i> et donc voilà pour essayer un peu de parler de ça à ce moment là
(...)	
136. E :	mais alors moi <i>c'est des gamins qui ont énormément de blocage avec les maths souvent mais moi je ne cesse de leur dire que sans les maths enfin que les maths sont un outil que nous on va appliquer</i>

Si les mathématiques sont conçues comme des outils nécessaires à la physique, l'enseignante B donne à voir sa vision de la science dans le jeu (A).

En [T 89], l'utilisation du vecteur pour représenter une force est le fruit d'une décision entre deux communautés (« les physiciens et les mathématiciens ») qui ont discuté (« on s'est mis en accord ») pour créer un symbole (« la flèche »). De plus, en [T 98], les mathématiques sont vues comme un ensemble d'« outils », dont la fonction est « d'expliquer un phénomène que l'on ne voit pas » et à « décrire toutes ces situations ». L'énergie, la force, le travail sont par conséquent définis comme des concepts, « des choses qui sont abstraites », explicables et descriptibles grâce à un outil mathématique.

En [T 112], l'enseignant ajoute en outre que :

112. E : (...) les physiciens vont utiliser les outils mathématiques pour pouvoir justement *décrire ça et pouvoir mettre en applications c'est toujours pour pouvoir expliquer les choses plus finement et pouvoir peut être fabriquer aussi des outils qui vont leur servir (...)*

La capacité des physiciens de décrire et d'expliquer grâce à l'outil mathématique peut conduire également à des applications et à un développement technique : « fabriquer aussi des outils qui vont leur servir ».

La physique est par conséquent vue comme la construction d'un langage abstrait, manipulant des objets mathématiques afin de décrire les phénomènes et permettant une action sur le monde à travers des applications concrètes.

Cette vision de la science répond en outre à une intention implicite : il faut préparer les élèves à utiliser des outils mathématiques pour l'examen.

Le jeu n°4 du thème 4 consiste en l'institutionnalisation écrite de la notion de « concept » introduite. Un élève lit la définition écrite sur le polycopié :

L'élève reprend sa lecture.

136. Mickaël : attention les notions d'énergie de travail de force sont abstraites et par conséquent difficiles à définir les physiciens parlent alors de concepts le concept de l'énergie le concept de force *un concept est une représentation mentale d'une notion abstraite que l'on peut mieux cerner en les modélisant par des outils mathématiques exemple c'est parce qu'une force ne se voit pas que l'on caractérise ses effets par un vecteur (19 :19)*

Le concept est donc institutionnalisé comme étant « une représentation mentale d'une notion abstraite ». L'outil mathématique « modélise » alors cette représentation.

Travailler sur les concepts avec les élèves, ce serait ainsi travailler leurs représentations mentales. La physique est donc utile pour travailler les représentations mentales puisqu'elle utilise des modèles. Ceci fait écho avec l'entretien ante [Ante 139-142] :

139. NH : et justement cette phrase¹²⁶ à quoi ça sert comment t'y réponds
 140. E : ah bah j'y réponds facilement enfin facilement alors ça peut servir directement si on continue dans les études ce qui est rare mais certains peuvent après poursuivre dans des études de physique et donc ils ont besoin de cet outil là sinon *je leur explique que le cerveau c'est une machine cette machine là elle a plein de connexions possibles que plus on lui montre des connexions et des différentes connexions et un raisonnement mathématique un raisonnement sur la physique qui va pas leur servir quand ils vont sortir je leur dis ah c'est sûr vous irez dans la cour là ça va vous servir à rien sauf que vous aurez donc votre cerveau aura travaillé aura cherché il aura il se sera connecté avec des façons nouvelles et ça ça peut les aider dans la vie de tous les jours je leur dis le jour où vous aurez un souci de ou autre chose c'est une façon de raisonner qui fait que voilà vous apprenez quelque chose donc votre cerveau sera capable et une ouverture d'esprit aussi*
 141. NH : donc toi ton rôle dans tout ça c'est
 142. E : c'est une ouverture d'esprit *c'est l'acquisition de connaissances aussi mais c'est essentiellement aussi oui voilà une façon de raisonner une certaine forme de façon de raisonner de comprendre le monde puisque c'est ça en fait ils sont dans un monde et il faut s'y adapter il faut y vivre l'adaptation par exemple alors c'est comme je leur dis en plus eux c'est des générations où ça bouge enfin voilà donc l'adaptation à la vie de tous les jours répondre à des questionnements ça s'apprend aussi en cours voilà même si ils sont en train d'écrire une équation et puis derrière ça il y a la concentration il y a tout ça quoi*

¹²⁶ Il s'agissait d'une question souvent exprimée par les élèves : « A quoi sert ce qu'on fait en classe de physique ? »

Ce qui nous semble intéressant dans l'extrait précédent est que l'enseignante ancre son action dans une théorie de la cognition : les savoirs sont seconds, la tâche permettant de « créer des connexions dans le cerveau » est première : « c'est l'acquisition de connaissances mais c'est essentiellement (...) une façon de raisonner » [Ante 142].

13.3.2.3 Un modèle d'utilisation des énoncés grammaticaux : le modèle simplifié de la chaîne énergétique

Le modèle de la chaîne énergétique est introduit par l'enseignante lors jeu n°1 du thème n°5, consacré aux formes d'énergie d'un convertisseur d'énergie.

Ce jeu a pour fonction de dévoluer les jeux à venir. En effet, il s'agit ici pour l'enseignante de donner les consignes des jeux à venir et de répartir les élèves en groupe. C'est pourquoi la phase de définition est longue.

Nous nous intéressons ici à un extrait de la définition du jeu, quand le modèle de la chaîne énergétique est introduit dans le milieu [T 153-154] :

153. Clément lit le texte :	Les principales formes d'énergie activité nous venons de définir l'énergie d'un point de vue physique nous allons réfléchir maintenant à partir de divers objets proposés sur <i>les différentes formes d'énergie existantes</i> pour cela faire des groupes de trois personnes chaque groupe se verra confier un objet convertisseur d'énergie et va devoir le décrire au reste de la classe <i>selon le modèle suivant</i>
<i>E va au tableau en redonnant les consignes et en décrivant le modèle utilisé.</i>	
154. E :	alors ce modèle donc je vais le reprendre au tableau donc vous avez bien compris vous allez vous mettre par groupe de trois donc je remets on est dans les principales formes d'énergie et chacun va avoir en sa possession dans chaque groupe <i>un objet convertisseur d'énergie que vous allez devoir décrire selon le modèle alors le modèle donc c'est le suivant on est donc le modèle c'est très simple</i> vous avez trois choses alors j'ai pas mon éponge si <i>je vais vous demander de réfléchir sur la forme d'énergie entrante dans le convertisseur en question et la forme d'énergie sortante utile</i> donc je le reprends ce modèle là donc vous avez le convertisseur donc forme de l'énergie sortante et peut-être que vous avez fait les curieux et que vous avez déjà vu des choses là d'accord donc c'est effectivement les quatre convertisseurs donc vous aurez chacun chaque groupe aura alors forme de l'énergie sortante utile et forme de l'énergie entrante d'accord (...)

Finalement, le modèle dessiné au tableau est le suivant :



Image du tableau n°2-B₁

Deux éléments nous semblent ici significatifs.

Tout d'abord, si l'enseignante emploie le mot « modèle », elle ne le définit pas comme étant le modèle « de la chaîne énergétique », il s'agit donc ici d'un premier modèle de la chaîne

énergétique, simplifié car seule l'énergie « utile » est explicitée. C'est ce qu'elle explique dans l'entretien ante [Ante 128] :

127. NH :	<i>et ces schémas là tu vas t'en servir après dans les chapitres futurs en fait</i>
128. E :	<i>oui chaque fois si tu veux chaque fois qu'il y a un convertisseur je repars c'est pas forcément un rond c'est peut être un carré mais chaque fois oui chaque fois qu'il y a un rendement à calculer toujours l'entrant, le sortant et puis les pertes alors après pour certains élèves c'est bien pour d'autres ils en ont pas besoin ou ça va pas forcément ouais mais j'utilise ça ouais enfin la partie découverte oui jusque là jusqu'à ce soir un peu</i>

Ainsi, dans les séances qui suivent, ce modèle sera complexifié en y ajoutant « les pertes », et des valeurs numériques pour « calculer un rendement ».

Deuxièmement, ce modèle a pour fonction de faire réfléchir les élèves : « je vais vous demander de réfléchir » [T 154] et de permettre de décrire un convertisseur d'énergie : « vous allez devoir décrire selon le modèle » [T 154]. Il a donc une fonction heuristique, dans le sens où c'est un élément qui va permettre de représenter les transformations énergétiques au sein d'un convertisseur d'énergie. Il s'agit par conséquent d'un élément qui va constituer la *grammaire* dans laquelle la description demandée va se dire.

De plus, la notion de forme d'énergie n'a pas été définie en classe, c'est l'usage que vont en faire les élèves, à travers le modèle, qui leur permettra de donner un sens à cette notion.

13.3.2.4 Conclusions

La première partie de la séance, analysée ici d'un point de vue de la succession des jeux d'apprentissage, a pour objet la construction d'énoncés grammaticaux, à partir d'énoncés du langage courant.

Ces énoncés grammaticaux ont comme propriétés de mettre en jeu :

- une grammaire explicite : l'énergie, le travail, la force ont en commun une architecture conceptuelle similaire. Ce sont tous les trois des concepts. En ce sens, une grammaire épistémologique explicite leur articulation, ce sont des concepts, c'est-à-dire des « représentations mentales », selon l'institutionnalisation faite par l'enseignante, qui ont pour fonction de « représenter mathématiquement le réel ». De plus, un modèle est fourni pour décrire le réel, celui de la chaîne énergétique ;
- une sémantique : la liaison entre une notion déjà vue, la force, et deux notions en cours d'enseignement, le travail et l'énergie, fait que toutes ces notions prennent une nouvelle signification. Il y a donc un travail sur la signification qui est fait, qui relève de l'épistémologie.

On peut dans une première approche interpréter cette grammaire épistémologique comme le moyen que l'enseignante B se donne pour simplifier la présentation des savoirs à enseigner et en ce sens l'explicitation de cet usage est une technique de dévolution.

Pour rendre accessible un savoir, elle l'inscrit dans une démarche épistémologique. C'est une sorte de principe de moindre coût cognitif : l'action de l'enseignante vise à minimiser le coût cognitif de son enseignement et de l'apprentissage des élèves : elle explicite alors le registre épistémologique à son intention.

L'enseignante développe également des énoncés relatifs à la science : celle-ci s'attaque à des problèmes difficiles, elle est construite en communautés (les physiciens, les mathématiciens par exemple) et son objectif est de décrire les phénomènes pour les expliquer et de fabriquer des outils pour s'en servir.

Les énoncés grammaticaux qui sont les enjeux des jeux d'apprentissage sont autant d'éléments langagiers qui permettent une description des phénomènes. Ils sont les

échafaudages qui rendent possibles la description. En ce sens, l'enseignante développe une vision éducative qui intègre les énoncés grammaticaux : si les énoncés servent à décrire, l'action de décrire mobilise ce type d'énoncés et leur combinaison est un raisonnement. La visée éducative qu'elle met en action se fait à travers le raisonnement des élèves, c'est-à-dire la capacité à connecter des énoncés (principalement des énoncés grammaticaux dans cette séance).

13.3.3 Une production d'énoncés empiriques à double fonction : utiliser les énoncés grammaticaux vus précédemment et construire de nouveaux énoncés grammaticaux

13.3.3.1 La production d'énoncés empiriques par groupe d'élèves

Nous analysons ici les jeux d'apprentissage du thème 5 sur les formes d'énergie d'un convertisseur.

Lors du 1^{er} jeu du thème 5, l'enseignante a introduit le modèle de la chaîne énergétique puis a organisé la classe en groupe d'élèves, de façon à ce que chaque groupe ait la responsabilité d'un convertisseur d'énergie (un alternateur, une calculatrice solaire, un sèche-cheveux, une plante verte).

Dans le 2^{ème} jeu du thème 5, l'enseignante circule de groupe en groupe et régule le milieu au sein de chacun de ces groupes, notamment dans la présentation et à la gestion du matériel pour le groupe de l'alternateur, de la calculatrice solaire et du sèche-cheveu.

L'enseignante régule alors le milieu de deux manières.

Elle encourage tout d'abord les élèves à jouer (acte de dévolution). C'est ce qu'elle exprime avec le groupe de la calculatrice solaire [T 183] :

181. E :	C'est une photopile voila d'accord donc <i>imaginez</i> ce que vous pouvez faire voila par exemple pour
182. ?? :	XXXXXXXXXXXXXXXX
183. E :	<i>essayez de raisonner</i> quelle est la forme d'énergie entrante quelle est la forme de l'énergie sortante d'accord (28 :03)

En effet, elle leur demande d'imaginer [T 181] et d'essayer d'utiliser le modèle de la chaîne énergétique pour décrire le fonctionnement du convertisseur d'un point de vue énergétique [T 183].

De même, avec le groupe de la plante verte, qui demande des explications [T 194-206] :

194. Mickaël :	est-ce que ça existe l'énergie organique
195. Cédric :	non mais non ça n'existe pas il y a l'énergie solaire
196. E :	<i>là tu vois je vais pas te dire</i> si ça existe ou pas en fait ce qui va m'intéresser c'est que vous le présentiez à la classe et qu'on puisse en discuter
197. ?? :	en entrée c'est l'énergie solaire
198. ?? :	énergie
199. ?? :	énergie lumineuse
200. ?? :	il y a l'ozone c'est pas non plus de la lumière
201. ?? :	bah ça fait des feuilles
202. E :	<i>Pour vous il y a du raisonnement là voila voila continuez vous êtes dans la bonne</i>

203. Mickaël :	oui mais pourquoi vous nous avez donnés le plus dur
204. E :	parce que vous êtes très intelligent
205. ?? :	non c'est pas pour ça
206. E :	<i>non c'est bien vous raisonnez bien là c'est continuez fouillez essayez de je ne vous répondez pas volontairement (28 :53)</i>

En effet, elle ne répond pas aux questions posées, mais les incite à continuer ; « là tu vois je vais pas te dire » [T 196], « pour vous il y a du raisonnement là voilà voilà continuez vous êtes dans la bonne voie » [T 202], « non c'est bien vous raisonnez bien là c'est continuez fouillez essayez de je ne vous répondez pas volontairement » [T 206].

On retrouve dans l'entretien ante des éléments sur la volonté qu'a l'enseignante de faire raisonner les élèves [Ante 141-142] :

141. NH :	donc toi ton rôle dans tout ça c'est
142. E :	c'est une ouverture d'esprit c'est l'acquisition de connaissances aussi mais c'est essentiellement aussi oui <i>voilà une façon de raisonner une certaine forme de façon de raisonner de comprendre le monde (...)</i>

Ce qui structure l'action de l'enseignante est donc la prise en charge du milieu les élèves et leur *capacité à raisonner* sur les objets dont elle leur a confié la responsabilité, suivant le modèle qu'elle leur a donné. En ce sens, les énoncés grammaticaux des jeux précédents sont mobilisés comme outils de représentation avec lesquels les élèves raisonnent. Cette mobilisation d'énoncés grammaticaux conduit à la formation d'énoncés empiriques par les élèves et internes à leur groupe : les noms que l'on pourrait donner aux formes d'énergie spécifiques au convertisseur choisi.

13.3.3.2 La production partagée d'énoncés empiriques

Dans le thème n°6, les groupes présentent successivement leur travail au reste de la classe. Nous avons défini les présentations de chaque groupe comme autant de jeux d'apprentissage.

Nous avons déjà décrit la restitution du groupe responsable du sèche-cheveux (voir 13.2.1.3 sur le croisement entre les formes dialogiques de communication et la topogénèse du côté des élèves, p. 276). Nous nous intéressons ici plus spécifiquement à la restitution du groupe sur la plante verte (jeu n°4), car elle donne également lieu à un débat.

Ce débat est en effet alimenté par un glissement conceptuel de l'énergie [T 357] à la matière [T 358] dès le début de la restitution du groupe [T 356-358]

356. Cédric :	<i>et on sait pas c'est quoi qui en sort</i>
357. Mickaël :	<i>si c'est l'énergie organique mais je sais pas si</i>
358. Paul :	<i>ouais ça peut en faire de la matière organique mais on savait pas trop parce que ça fait aussi de la transpiration</i>

A partir de cette intervention, les élèves se focalisent sur ce qu'il se passe dans la plante : « matière organique » [T 358], « transpiration » [T 358] pour le groupe plante ; des élèves de la classe introduisent d'autres éléments dans le milieu : « respiration » [T 360], « oxygène » [T 362-363], « O₂ » [T 373], « CO₂ » [T 373], « H₂O » [T 377]. Deux autres élèves introduisent également la notion de « photosynthèse » [T 368 et 376].

Le débat s'articule alors sur la différence entre matière et énergie [T 372-378] :

372. Jérémy :	il y a plusieurs énergies qui sont là
373. Clément :	elle sort de l'O ₂ et du CO ₂
374. E :	il sort du O ₂ du CO ₂ ça s'est de l'énergie qui sort c'est ça
375. ?? :	mais on c'est pas de l'énergie
376. Guillaume :	c'est la photosynthèse
377. Cindy :	non c'est du H ₂ O qui sort
378. ?? :	non enfin il y a pas d'énergie qui sort c'est de la matière tout ça

Ainsi, une interprétation énergétique du fonctionnement de la plante est difficile pour les élèves et sujette à débat, car le mécanisme de la photosynthèse est discuté et parce qu'ils associent matière et énergie. On retrouve donc dans ce cas une conception substantialiste de l'énergie.

L'enseignante régule le milieu en relançant le débat puis en précisant les règles, enfin en resserrant sur les propositions des élèves [T 361-392] :

361. E :	donc là ils ont un questionnement par rapport à alors va qu'est ce que qu'est ce que tu appelles la transpiration
(...)	
369. E :	alors qu'est-ce que vous en pensez
(...)	
374. E :	il sort du O ₂ du CO ₂ ça s'est de l'énergie qui sort c'est ça
(...)	
381. E :	c'est difficile
(...)	
387. E :	donc là j'entends des choses mais si vous avez donc à répondre à compléter le schéma quel mot vous mettriez alors pour l'énergie entrante j'ai l'impression que là vous êtes tous d'accord c'est à dire vous avez proposé
(...)	
390. E :	et en sortie c'est là où c'est plus difficile vous avez parlé d'une énergie organique je crois je ne me trompe pas
(...)	
392. E :	ouais les autres ça vous va

L'enseignante institutionnalise alors oralement le seul mot contenant « énergie » proposé par les élèves qui est « énergie organique ».

L'action de l'enseignante sur le milieu est plus importante dans cet ensemble de jeux (thème 6) que dans les précédents (thème 5). Elle régule le jeu en adaptant le milieu afin que les élèves produisent un énoncé empirique qui fasse consensus au sein de la classe. Si ce consensus est immédiat, elle ne participe pas au milieu (jeux 1 et 2 du thème 6), alors qu'elle intervient pour favoriser un consensus si celui-ci tarde à se former (jeux 3 et 4 du thème 6). Ces énoncés sont par conséquent produits par l'ensemble des élèves, et non plus seulement par des groupes d'élèves.

13.3.3.3 La production d'énoncés grammaticaux à partir des énoncés empiriques produits par les élèves

La classification des différentes formes d'énergie est institutionnalisée lors du thème n°7.

Celui-ci est composé de 5 jeux d'apprentissage.

Les 4 premiers jeux consistent à reprendre les chaînes énergétiques construites précédemment par les groupes d'élèves. L'enseignante commence alors par définir et dévoluer ces jeux [T 394] :

394. E :	(...) allez on va les reprendre un à un et puis on va discuter un peu de ces énergies je vous rappelle l'objectif étant de dégager différentes formes d'énergies et à moi de vous dire ensuite quelles sont les formes qui ont été et les noms et les termes qui ont été retenus par les physiciens d'accord au niveau de ces différentes catégories d'énergies (...)
----------	---

La définition des jeux à venir s'établit sur une prise de décision de l'enseignante concernant la topogénèse à venir. Elle déclare en effet : « à moi de vous dire ensuite », c'est-à-dire elle exprime ainsi la prédominance de son rôle dans les jeux qui suivent. C'est effectivement ce que montrent les descripteurs où la topogénèse est largement du côté de l'enseignante.

Elle fonde de plus son discours à venir en référence aux « noms et termes qui ont été retenus par les physiciens ». Elle assume donc ici une forme de communication de type autoritative, dont la légitimité est assurée par une communauté, celle des physiciens.

L'enseignante B justifie dans l'entretien post l'importance de parler une même langue, en l'occurrence une langue commune avec la communauté scientifique [Post 86] :

86. E :	<p>si euh ah si c'est une démarche consciente <i>pour leur montrer que là c'est les physiciens ont choisi de catégoriser par exemple en 5 6 avec l'énergie nucléaire et d'employer tel terme tel mot</i> voila parce que quand ils me disent chaleur je leur montrais que <i>c'est pas faux ce qu'ils m'ont dit n'est pas faux simplement ce sera dit sous la forme énergie thermique</i> voila donc le mot c'est ce qu'il va falloir qu'ils apprennent voila si tu veux c'est le terme c'est aussi je leur dis souvent <i>pour pouvoir communiquer la science il faut qu'on parle un peu le même langage c'est plus facile</i> donc il y a eu tout cet effort là qui a été fait notamment quand on parle des unités pour qu'on puisse un peu uniformiser pour qu'on puisse échanger ça c'est quelque chose que je <i>dis c'est que la science elle se fait en échangeant et donc si on veut se comprendre c'est plus facile quand on emploie un peu les mêmes mots</i> donc il y a cet aspect là</p>
---------	---

Elle donne à voir ici la communauté scientifique comme étant des physiciens qui font des choix (« pour leur montrer que là c'est les physiciens ont choisi de catégoriser ») : les savoirs ne sont par conséquent par conçus indépendamment de ceux qui les ont produit.

Le travail rectificatif qui va être mené dans les jeux de ce thème n'est en outre pas la mise à jour des erreurs des élèves puisqu'ils n'ont pas « faux ». Autrement dit, le travail porte moins dans ces jeux sur la compréhension des élèves que sur l'acquisition d'une convention linguistique : « donc le mot c'est ce qu'il va falloir qu'ils apprennent ». L'importance que donne l'enseignante aux mots est en outre justifiée par une conception sur la science : « c'est que la science elle se fait en échangeant », autrement dit faire des sciences, c'est échanger des idées par le langage : « si on veut se comprendre c'est plus facile quand on emploie les mêmes mots ». Par conséquent, pour l'enseignante B, apprendre les sciences, c'est apprendre les mots qui permettent d'échanger avec la communauté des physiciens.

Nous analysons un jeu significatif sur l'action conjointe qui mène à l'institutionnalisation des noms des formes d'énergie. Il s'agit du jeu n°2 portant sur la forme rayonnante d'énergie.

Ce jeu n°2 concerne un retour sur la chaîne énergétique d'une calculatrice solaire. Les élèves ont écrits « énergie solaire » comme forme d'énergie entrante et « énergie électrique » pour l'énergie sortante. L'enseignante valide la forme électrique de l'énergie et l'extrait suivant concerne une discussion sur « l'énergie solaire » et l'institutionnalisation de « l'énergie rayonnante » [T 403-414] :

403. E :	(...) vous avez proposé en entrée énergie
404. Guillaume :	solaire
405. E :	<p>solaire <i>alors là voyez ça c'est une limite du langage courant</i> puisque on je vous ai mis je vous ai dit calculatrice solaire en fait cette calculatrice elle peut marcher aussi avec de la lumière qui n'est pas une lumière solaire elle peut tout à fait marcher avec les lampes là de la salle je pourrai faire le noir là avec qu'on n'ait pas d'énergie solaire qui arrive est-ce qu'elle fonctionnerait</p>
406. Mickaël :	oui
407. E :	oui alors on appelle cette énergie là comment pas solaire du coup
408. Mickaël :	lumineuse
409. Cédric :	lumineuse
410. E :	<p><i>lumi alors oui mais</i> en seconde vous avez vu on a vu un peu la lumière vous l'avez vue l'année dernière chaque lumière chaque couleur je ne vais pas refaire le cours de seconde est associée à un type de</p>
411. Martin :	rayon
412. E :	<p><i>rayonnement oui</i> c'est ça rayonnement puis après il y avait la longueur d'ondes donc on va appeler cette énergie là une énergie</p>

413. Cindy :	rayonnante
414. E :	<i>rayonnante d'accord</i> donc énergie rayonnante énergie électrique (46 :24)

On remarque que les deux propositions des élèves « lumineuse » et « rayon » sont acceptées comme valide par l'enseignante (« alors oui mais » [T 410], « rayonnement oui » [T 412]). On retrouve donc là l'importance que l'enseignante accorde à l'aspect conventionnel des formes d'énergie, et, de ce point de vue, les propositions des élèves se justifient, « ne sont pas fausses » [Post 86], elles ne correspondent tout simplement pas à la convention.

L'enseignante met de plus dès le début de l'échange l'accent sur l'aspect linguistique des propositions des élèves : « alors là voyez c'est une limite du langage courant » [T 405].

C'est tout d'abord du langage courant car les élèves ont identifié le « solaire » de « calculatrice solaire » avec l'existence d'une forme « solaire » d'énergie. La limite pointée par l'enseignante B est que toute lumière n'est pas forcément solaire et l'usage courant du mot ne recouvre pas toute l'étendue de ce qu'est la lumière. Autrement dit, ce qui est gagné en passant de l'usage courant « solaire » à l'usage scientifique « rayonnante », c'est une extension du domaine d'application du mot, mais aussi une intégration à d'autres savoirs puisqu'un lien est fait avec le cours de physique de seconde sur la lumière et les longueurs d'onde. Le mot institutionnalisé est donc porteur d'un rationalisme, en tant que connexion plus importante des concepts entre eux. C'est de plus un énoncé grammatical, car ce mot devient indépendant de la situation concrète où il a émergé pour former un nouvel outil de représentation, utilisable dans d'autres contextes.

Nous renvoyons le lecteur au jeu n°4 du thème 7 [T 416-420] (voir les annexes, p. 279) pour un autre exemple d'institutionnalisation d'un mot en référence à l'usage de la communauté scientifique.

13.3.3.4 Conclusions

Dans la deuxième partie de la séance (thèmes 5 à 7), les élèves utilisent les énoncés grammaticaux définis lors de la première partie (thèmes 1 à 5) pour construire des énoncés empiriques sur des convertisseurs d'énergie dont ils ont la charge.

Cette construction se fait en 2 phases.

- Une phase « privée », dans laquelle les élèves échangent entre eux. Les interactions sont alors complexes, entre les élèves. L'enseignante régule le milieu en répondant à leurs questions sur le matériel ou leur bonne compréhension des règles du jeu, mais refuse d'entrer dans leur raisonnement. L'organisation en groupe permet l'émergence de formes dialogiques de communication, à l'intérieur de chaque groupe, et entre groupe puisque l'espace social de la classe est divisé en autant de manières de raisonner.
- Une phase « publique », dans laquelle chaque groupe présente au reste de la classe, le résultat de leurs échanges. Les échanges peuvent être alors vifs, si le consensus met du temps à s'établir. L'enseignante régule le jeu afin de faire émerger ce consensus.

On peut interpréter ces 2 phases comme la constitution d'une communauté scientifique à l'échelle de la classe : les élèves collaborent au sein des groupes puis exposent leurs résultats à des pairs qui font le même travail. Ce que fait l'enseignante est donc ici de proposer une situation aux élèves dans laquelle ils puissent raisonner, sans vouloir contrôler la justesse du raisonnement, en privilégiant l'activité des élèves. Les élèves sont alors libres d'emprunter le chemin qu'ils veulent. Elle n'intervient clairement que dans le cas où ce raisonnement est bloqué (absence de consensus). Son action est cohérente avec ce qu'elle pense de l'apprentissage [Ante 161] :

161. E :

(...) comment on apprend qu'est-ce qui se passe le respect de chacun *c'est impossible d'apprendre à tout le monde avec la même méthode* on a chacun mais ça si ça je peux le faire passer aux élèves et si ils le comprennent c'est vraiment *l'erreur c'est pas grave* enfin vraiment cette période d'apprentissage il faut faut c'est normal que des gens comprennent pas c'est normal c'est juste qu'il faut le temps *il faut trouver la porte d'entrée alors c'est pas le prof qui l'a forcément parce qu'on a pas le temps aussi d'en faire ça peut être entre copains, s'aider c'est d'essayer de leur montrer ça*

Elle crée donc une situation où les échanges se font entre élèves et le modèle de cette situation est celui d'une communauté scientifique, faite d'énoncés construits collectivement et soumis au regard des pairs. L'enseignante intervient alors dans le milieu pour connecter la communauté scientifique des élèves à une autre communauté, celle des physiciens : elle confronte alors les productions des 2 communautés et institutionnalise les mots désignant officiellement les formes d'énergie.

13.4. Conclusion : un tableau de la pratique de l'enseignante B dans la séance B₁

13.4.1 Qu'est-ce qui est objet d'enseignement dans le jeu didactique ?

Nous avons vu que l'objet d'enseignement principal de cette séance concerne les énoncés grammaticaux liés à l'énergie. Ces énoncés se disent dans :

- une syntaxe particulière, qui est avant tout épistémologique et qui est explicitée par l'enseignante : l'énergie est un concept, le modèle de la chaîne énergétique, simplifié dans cette séance, est présenté comme une manière de représenter le fonctionnement d'objets de la vie courante ;
- une sémantique, car la définition de l'énergie fait appel à d'autres concepts, ceux de travail et de force. C'est par conséquent tout un réseau théorique qui est mobilisé, dans lequel chaque élément ne tire sa signification qu'en fonction des autres. C'est en ce sens que la notion de force prend ici pour les élèves une signification nouvelle, celle de l'appartenance à un langage plus vaste que celui déjà vu, connecté par une syntaxe épistémologique ;

Ces énoncés grammaticaux ont été utilisés par les élèves pour produire des énoncés empiriques, dont la confrontation avec l'usage « institutionnel » a permis l'introduction d'un nouveau lexique qui participe aux énoncés grammaticaux. En effet, les termes associés aux différentes formes d'énergie ont émergé des énoncés empiriques proposés par les élèves sur des objets concrets. Ces nouveaux termes participent également d'une sémantique, puisque par exemple l'énergie chimique fait référence aux réactions chimiques : un nouveau terme est donc introduit dans un réseau conceptuel déjà constitué par les élèves, son introduction, en même temps qu'il élargit l'horizon de sa définition, renouvelle le sens du réseau déjà constitué.

13.4.2 Comment le jeu didactique est-il joué ?

Nous reprenons ici les conclusions écrites dans le chapitre 13.2.4 (voir pp. 288-289).

Une topogénèse majoritairement sous la responsabilité de l'enseignante, discontinuée sur la séance et liée aux types d'énoncés enjeux des jeux d'apprentissage

L'action conjointe prend successivement deux formes différentes dans la séance B₁.

La première partie de la séance consiste au passage des énoncés de langage courant aux énoncés de type grammatical (thèmes 1-4) : la topogénèse passe alors progressivement de la responsabilité des élèves à celle de l'enseignante. Les interactions sont majoritairement de type I-R-E et l'organisation de la classe « en classe entière ».

La deuxième partie de la séance consiste à passer d'énoncés grammaticaux aux énoncés de type majoritairement empirique (thèmes 5-6) : la topogénèse passe alors progressivement de la responsabilité de l'enseignante à celle des élèves. Les interactions sont majoritairement de type I-R complexe entre élèves et l'organisation de la classe « en groupe » ou « en exposé de groupes ». La topogénèse repasse alors sous la responsabilité de l'enseignante en fin de séance, quand l'organisation sociale de la classe revient « en classe entière » et que les énoncés grammaticaux sont à nouveau les enjeux des jeux d'apprentissage (thème 7).

Nous observons donc dans cette séance que la topogénèse est du côté des élèves quand l'organisation sociale de la classe est en groupe ou en exposé de groupe et la forme de communication est alors souvent dialogique : ce sont alors des énoncés empiriques ou de langage courant qui sont les objets des jeux d'apprentissage.

Quand la topogénèse est mixte, la forme de communication est le plus souvent autoritative : la référence est alors celle des savoirs scientifiques à institutionnaliser.

La topogénèse est majoritairement sous la responsabilité de l'enseignant dans cette séance : la forme de communication est également le plus souvent autoritative et la forme d'organisation sociale de la classe est souvent en classe entière. Ce sont principalement les épisodes de définition des jeux et d'institutionnalisation des savoirs qui sont sous la responsabilité de l'enseignant.

Une mésogénèse majoritairement interactive, et contrastée sur la séance

Les interactions sont majoritairement de 2 types dans la séance : entre élèves ou à l'initiative des élèves quand la topogénèse est du côté des élèves avec une forme d'organisation de la classe en groupe ou sous forme d'exposé ; entre l'enseignante et les élèves (I-R-E), quand la topogénèse est sous la responsabilité de l'enseignante. L'enseignante introduit davantage d'objets que les élèves dans le milieu mais ne réagit pas aux objets introduits par les élèves quand la topogénèse est sous la responsabilité des élèves.

Les épisodes d'institutionnalisation s'accroissent au cours des 2 parties de la séance (thèmes 1-4 et thèmes 5-7), avec une intégration progressive des savoirs pour la première partie et des tâches dévolues aux élèves dans la deuxième partie. L'enseignante intègre anciens et nouveaux savoirs en jouant sur des échelles de temps de la dévolution : dévolution centrée sur les savoirs vus antérieurement et centrée sur les tâches futures.

Une chronogénèse intégrative d'énoncés majoritairement grammaticaux

Cette intégration est de plus effectuée au niveau des jeux d'apprentissage de la séance, par la forme « intégrative » de la chronogénèse. En effet, les savoirs enjeux des jeux des thèmes 1 à 3 sont repris dans les jeux du thème 4. Les jeux des thèmes 5 sont intégrés aux jeux du thème 6, qui sont eux-même intégrés à la structure des jeux du thème 7. Cette architecture fait que les jeux successifs sont repris, en termes d'enjeux de savoirs mais aussi de tâches d'élèves, et participe selon nous à intégrer et à articuler les savoirs.

13.4.3 Quelle épistémologie pratique est mise en oeuvre ?

Une théorie implicite de l'enseignement / apprentissage variée suivant les types d'énoncés qui sont l'enjeu des jeux d'apprentissage

Nous avons vu qu'en début de séance les jeux d'apprentissage avaient pour enjeu des énoncés tout d'abord de langage courant puis de type grammatical. L'enseignante a alors utilisé une technique de cours dialogué pour réaliser ce passage dans les types d'énoncé.

Le thème 4, qui est une succession de jeux d'apprentissage ayant pour enjeu l'institutionnalisation à l'écrit des énoncés grammaticaux produits dans les jeux précédents, est joué de manière autoritative et peu interactive : l'enseignante utilise alors la technique du cours magistral pour institutionnaliser les énoncés grammaticaux.

La deuxième partie de la séance est liée à la production d'énoncés empiriques. L'enseignante crée alors une situation pour laquelle les élèves sont libres et responsables de leur propre action, ils échangent entre pairs et les savoirs sont construits et discutés collectivement puis institutionnalisés en référence à une communauté sociale (celle des physiciens). En ce sens, nous qualifions la théorie de l'enseignement/apprentissage mise en œuvre par l'enseignante B de socioconstructiviste¹²⁷.

On peut donc interpréter cette variation dans les techniques d'enseignement / apprentissage par le type d'énoncés qui est enjeu : pour les énoncés grammaticaux, l'enseignante privilégie une manière de faire transmissive, alors que pour les énoncés empiriques, elle met en place une situation socioconstructiviste pour aboutir à la construction de nouveaux énoncés grammaticaux.

Une théorie explicite et implicite des savoirs scientifiques

L'enseignante explicite plusieurs fois dans la séance le statut des savoirs scientifiques : ce sont des concepts et faire des sciences de son point de vue, c'est donc conceptualiser et manipuler des concepts. Elle développe également des énoncés relatifs à la science : celle-ci s'attaque à des problèmes difficiles, elle est construite en communautés (les physiciens, les mathématiciens par exemple) et son objectif est de décrire les phénomènes pour les expliquer et de fabriquer des outils pour s'en servir.

La situation que l'enseignante crée pour que les élèves produisent des énoncés empiriques est cohérente avec ce qu'elle dit dans la séance. En effet, les élèves reproduisent une communauté scientifique à l'échelle de la classe : ils manipulent des concepts pour décrire des

¹²⁷ Nous avons repris ici trois critères définis par Jonnaert & Vander Borgh (1999). La perspective socioconstructiviste et interactive (modèle SCI) est composée de trois dimensions : « constructiviste » si l'individu construit ses connaissances dans sa propre activité ; « socio » si les interactions sociales avec d'autres acteurs sont une dimension importante ; « interactive » si l'apprenant interagit avec la situation ou le contexte.

convertisseurs d'énergie, ils débattent au sein d'un groupe, présentent leurs résultats et acceptent les critiques du reste de la classe.

Autrement dit, il y a une grande cohérence entre la théorie implicite des savoirs scientifiques et celle de l'enseignement / apprentissage mis en œuvre.

Une théorie implicite de l'éducation

L'enseignante donne sens à son action à travers l'ambition éducative qu'elle a pour ses élèves. Ici, son enseignement vise à favoriser le raisonnement des élèves, « afin de connecter le cerveau de nouvelles façons », pour leur ouverture d'esprit.

Cette vision éducative intègre alors les énoncés grammaticaux : si les énoncés servent à décrire, l'action de décrire mobilise ce type d'énoncés et leur combinaison est un raisonnement. La visée éducative qu'elle met en action se fait à travers le raisonnement des élèves, c'est-à-dire la capacité à connecter des énoncés.

Cette visée est cohérente avec la théorie implicite de l'enseignement / apprentissage qu'elle met en place : les élèves échangent et raisonnent. Elle est de plus cohérente avec sa théorie implicite des savoirs scientifiques, puisque les élèves reproduisent une communauté scientifique à l'échelle de la classe.

14. Analyse de la séance B₂

Nous reprenons pour cette quatrième analyse la même structure que pour les analyses précédentes et nous présentons par conséquent successivement le synopsis que nous avons construit de la séance B₂ (14.1), les caractéristiques globales de la pratique de l'enseignante B dans cette séance (14.2) et les analyses des jeux de langage (14.3).

14.1. Construction des signes à partir du corpus principal - Synopsis de la séance

Comme dans l'analyse des séances précédentes, nous commençons par décrire notre corpus principal (14.1.1), puis nous mettons en narration la séance à partir d'une structuration en thèmes et jeux d'apprentissage (14.1.2), de façon à construire des signes. Nous résumons alors dans un tableau synoptique la structuration précédente (14.1.3).

14.1.1 Le corpus principal : la bande-vidéo de la séance

La bande vidéo principale est issue de la caméra qui filme les élèves de face. La bande vidéo commence au bout de 5 minutes quand les élèves sont installés (ce moment est défini comme temps 0 de l'analyse). Le film dure 1h30min.

14.1.2 Mise en récit de la séance : structuration en thèmes et jeux d'apprentissage

Nous présentons ici une première structuration de la séance, que nous avons organisée en thèmes en suivant l'ordre chronologique de leur succession. La manière dont chaque thème est abordé est ensuite décrite et nous détaillons l'ensemble des jeux d'apprentissage qui s'y déroule.

Cette séance a pour objectif global l'organisation d'un débat sur le modèle des conférences de citoyens portant sur les « politiques énergétiques et changement climatique ».

- Thème n°1 : La conférence de citoyens

L'enseignante commence la séance en demandant aux élèves des exemples de conférences de citoyens, mais l'absence de réponses la conduit à prendre elle-même l'exemple des nanotechnologies. Sous sa conduite, les élèves explicitent l'objectif que peut avoir une conférence de citoyens sur les nanotechnologies et ils identifient ces différents protagonistes. Finalement, l'enseignante projette un diaporama¹²⁸ et introduit l'objet de la séance, qui consiste à reproduire une conférence de citoyens, sur la problématique de la politique énergétique d'un pays en lien avec le changement climatique.

Nous avons divisé le thème n°1 en 4 jeux d'apprentissage :

¹²⁸ Voir les annexes, pp. 308-309.

- Donner des exemples de conférences des citoyens ;
- Expliciter le but d'une conférence de citoyens sur les nanotechnologies ;
- Identifier les participants des conférences des citoyens ;
- Définir l'objet et la problématique de la séance : les choix énergétiques d'un pays.

- Thème n°2 : le changement climatique, une perspective unique et dépendante du rôle joué

L'enseignante organise alors un jeu de rôle : elle donne les consignes à toute la classe, répartit les rôles et forme trois groupes, des élèves vont jouer les experts du GIEC, d'autres les experts critiques du GIEC et le reste de la classe les citoyens. Chaque groupe doit préparer une intervention et dispose de documents¹²⁹ à sa disposition. L'enseignante passe alors de groupe en groupe pour aider les élèves à construire un argumentaire (pour les experts) ou un questionnaire (pour les citoyens).

Le thème n°2 donne lieu à 2 jeux d'apprentissage :

- S'approprier les consignes ;
- Construire un argumentaire/questionnaire sur le changement climatique.

- Thème n°3 : Le changement climatique, une perspective plurielle

Les deux groupes d'élèves - experts exposent successivement leur argumentaire, puis les citoyens initient un débat autour des questions qu'ils ont préparées. L'enseignante n'intervient alors que pour définir les différents jeux joués.

Le thème n°3 est composé de 3 jeux d'apprentissage :

- Restituer l'expertise du GIEC ;
- Restituer l'expertise des experts critiques du GIEC ;
- Débattre du changement climatique.

- Thème n°4 : Les avantages / inconvénients des politiques énergétiques

L'enseignante regroupe les élèves-citoyens pour qu'ils échangent sur ce qu'ils viennent d'entendre et qu'ils intègrent les échanges qui se sont tenus à leur relevé de décisions sur la politique énergétique à mener (les élèves-experts attendent à leur place), puis ils viennent au tableau pour le présenter. Ils relancent alors les élèves-experts pour débattre avec eux des décisions prises.

Le thème n°4 est ainsi composé de 2 jeux d'apprentissage :

- Construire des propositions concernant les politiques à mener ;
- Débattre des propositions des citoyens.

- Thème n°5 : L'expertise et le citoyen

L'enseignante arrête le jeu de rôle et questionne les élèves-citoyens sur la mise en situation qu'ils viennent de vivre. Par le jeu des questions-réponses, elle fait expliciter quelques propriétés de l'expertise : l'absence de vérité des discours d'expertise, l'origine de leurs financements et leur rôle dans la prise de décision politique. L'enseignante institutionnalise alors l'importance de connaître les sources de l'expertise et le lien entre science, politique et citoyenneté.

Le thème n°5 est ainsi composé de 3 jeux d'apprentissage :

- Exprimer la difficulté d'être citoyen ;
- Expliciter des propriétés de l'expertise ;
- Expliciter l'importance de connaître la source d'expertise pour prendre des décisions citoyennes.

¹²⁹ Voir les annexes, pp. 310-322.

14.1.3 Synopsis de la séance

La structuration précédente est synthétisée sous la forme d'un synopsis dans lequel est ajoutée l'organisation sociale de la classe. Ce synopsis complète également la description précédente en indexant pour chaque jeu d'apprentissage des points de repère permettant de se référer aux annexes (repérage temporel et en tour de paroles de la transcription qui est disponible en annexe p. 345).

Le tableau n°1 ci-dessous constitue ainsi la synopsis de la séance sur le changement climatique de l'enseignante B.

Tableau n°1 : Synopsis de la séance B₂

Thème	Temps	Tour de paroles	Jeux d'apprentissage	Organisation de la classe
Thème n°1 La conférence des citoyens	(0:00)→ (0:50)	1→11	Donner des exemples de conférences de citoyens	Classe entière
	(0:50)→ (1:03)	11→13	Définir la fonction d'une conférence de citoyens pour les nanotechnologies	Classe entière
	(1:03)→ (2:18)	13→26	Identifier les participants des conférences de citoyens	Classe entière
	(2:18)→ (3:48)	26→32	Définir l'objet et la problématique de la séance : les choix énergétiques d'un pays	Classe entière
Thème n°2 Le changement climatique, une perspective unique et dépendante du rôle joué	(3:48)→ (6:42)	32→53	S'approprier les consignes	Classe entière
	(6:42)→ (45:17)	53→317	Construire un argumentaire/questionnaire sur le changement climatique	En groupe
Thème n°3 Le changement climatique, une perspective plurielle	(45:17)→ (51:02)	318→344	Restituer l'expertise du GIEC	Exposé
	(51:02)→ (55:24)	345→353	Restituer l'expertise des experts critiques du GIEC	Exposé
	(55:24)→ (1:07:38)	354→445	Débattre du changement climatique	Débat
Thème n°4 Les avantages / inconvénients des politiques énergétiques	(1:07:38)→(1:13:01)	446→470	Construire des propositions concernant les politiques à mener ;	En groupe
	(1:13:01)→(1:23:34)	471→585	Débattre des propositions des citoyens	Exposé / Débat
Thème n°5 L'expertise et le citoyen	(1:23:34)→(1:24:55)	586→601	Exprimer la difficulté d'être citoyen	Classe entière
	(1:24:55)→(1:26:09)	602→619	Expliciter des propriétés de la science en action	Classe entière
	(1:26:09)→(1:30:19)	619→648	Expliciter l'importance de connaître la source d'expertise pour prendre des décisions citoyennes	Classe entière

14.2 Caractéristiques de la pratique de l'enseignante B dans la séance B₂

Comme dans les analyses des séances précédentes, nous présentons dans cette partie une description globale de la pratique de l'enseignante B, dans la séance B₂, en nous appuyant sur la répartition et l'évolution des mots-clés qui ont été codés sur Transana. Nous renvoyons le lecteur à l'analyse systématique de quelques jeux d'apprentissage et au synopsis à l'échelle des épisodes (voir les annexes, p. 307) pour une justification du codage effectué.

Nous organisons alors le compte-rendu des descripteurs suivant qu'ils décrivent des caractéristiques de :

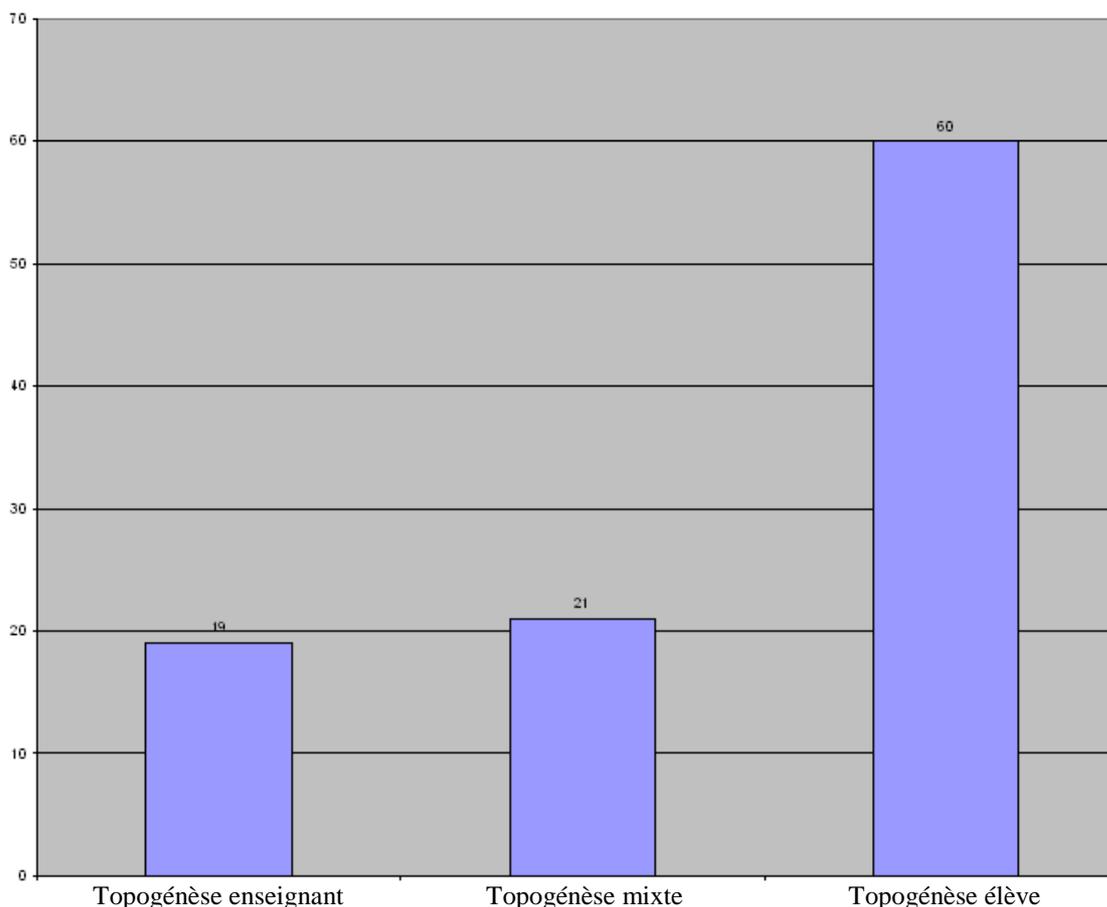
- la topogénèse (14.2.1) ;
- la mésogénèse (14.2.2) ;
- la chronogénèse (14.2.3).

14.2.1 Une topogénèse majoritairement sous la responsabilité des élèves

Nous commençons notre analyse en décrivant la répartition en % (du temps de la séance) de la topogénèse lors de la séance B₂ : la topogénèse est majoritairement sous la responsabilité des élèves (14.2.1.1). Nous décrivons alors l'évolution de cette topogénèse en la croisant avec d'autres descripteurs : les formes de communication et les formes d'organisation sociale du travail en classe (14.2.1.2). Nous spécifions alors davantage la topogénèse en analysant quelques extraits où la topogénèse est sous la responsabilité des élèves (14.2.1.3) ou bien mixte (14.2.1.4). Nous caractérisons également les épisodes où l'enseignante est responsable de la topogénèse (14.2.1.5). Nous concluons finalement en résumant les principales caractéristiques de la topogénèse dans la séance B₂ (14.2.1.6).

14.2.1.1 Une prise en charge de l'évolution du milieu par les élèves

Nous représentons dans le graphique n°1-B₂ la répartition en % (du temps de la séance) de la topogénèse lors de la séance B₂ :



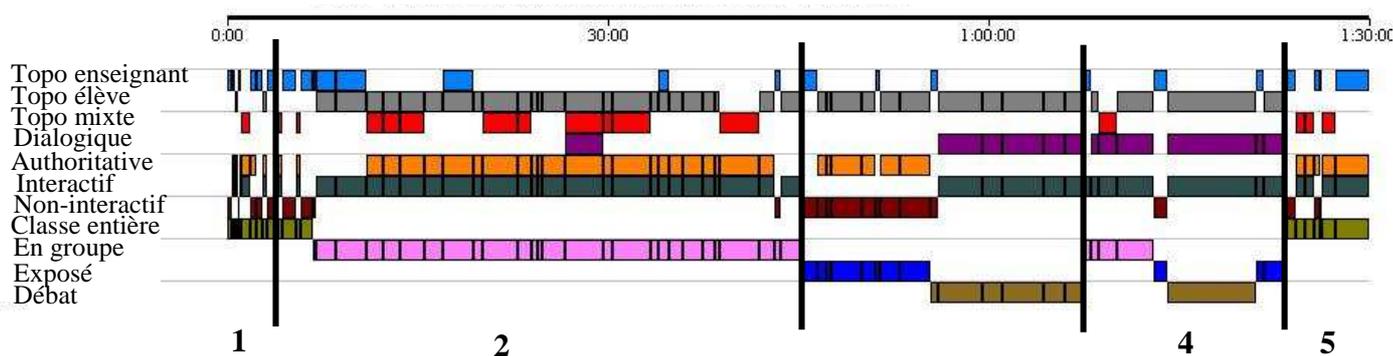
Graphique n°1-B₂ : Répartition de la topogénèse lors de la séance B₂ (en % du temps de la séance)

La topogénèse est majoritairement du côté des élèves (60% du temps de la séance) contre 19% pour l’enseignante. On observe que 21% du temps fait l’objet d’une topogénèse « mixte ». On peut donc en déduire que ce sont les élèves qui de façon majoritaire ont la responsabilité de l’évolution du milieu.

Nous caractérisons davantage la topogénèse dans les parties suivantes, en étudiant son évolution tout au long de la séance et en appuyant nos interprétations sur l’évolution d’autres descripteurs.

14.2.1.2 Evolution des descripteurs permettant de caractériser la topogénèse de la séance B₂

Nous présentons dans le graphique n°2-B₂ l’évolution des descripteurs qui nous permettent de caractériser plus précisément la topogénèse. Nous croisons donc ici les différents descripteurs liés à la topogénèse : les « formes de communication » et l’« organisation sociale de la classe ».



Graphique n°2-B₂ : Evolution de la topogénèse, associée à l'évolution d'autres descripteurs complétant l'interprétation topogénétique de la séance B₂

On remarque sur le graphique n°2 que :

- la topogénèse du côté des élèves est souvent associée à une organisation sociale de la classe, autre que « en classe entière » : travail de groupe dans les thèmes 2 (le changement climatique, une perspective unique et dépendante du rôle joué) et 4 (les propositions des citoyens) ; travail sous forme d'exposés de groupe dans le thème 3 (le changement climatique) et 4 (les propositions des citoyens), débat entre groupes lors des thèmes 3 et 4. Sur 41 épisodes codés « topogénèse élève », seuls 2 sont en effet joués en classe entière (5% des épisodes) ;
- la topogénèse sous la responsabilité des élèves met en œuvre tout d'abord une forme autoritative de communication (thèmes 2 et 3), puis une forme dialogique quand l'organisation sociale de la classe est le débat (thèmes 3 et 5) ;
- lors du thème 2, la topogénèse est du côté des élèves et en même temps mixte ou du côté de l'enseignante : il s'agit du travail en salles séparées. Les élèves travaillent de façon autonome (topogénèse élève), et simultanément l'enseignante passe de groupe en groupe (topogénèse mixte ou du côté de l'enseignante) ;
- la topogénèse passe dans cette séance de la responsabilité de l'enseignante (thème 1) à une responsabilité simultanée (thème 2), et enfin complètement du côté des élèves (thèmes 3-4). La fin de séance consiste alors à nouveau à un passage de la topogénèse « élève » à la topogénèse majoritairement du côté de l'enseignante (thème 5).

Nous développons davantage ces quelques éléments en spécifiant maintenant la nature des enjeux quand la topogénèse est sous la responsabilité de l'enseignante (14.2.1.3), est mixte (14.2.1.4) ou bien du côté de l'enseignante (14.2.1.5).

14.2.1.3 Une topogénèse du côté des élèves dans les épisodes où l'organisation sociale de la classe n'est pas « en classe entière » - les formes de communication évoluent avec la tâche demandée aux élèves

Nous avons vu précédemment que la topogénèse sous la responsabilité des élèves est associée à des organisations sociales de la classe en groupe (95% des épisodes de topogénèse « élève »

ont une organisation en groupe). Nous spécifions ici la topogénèse du point de vue des tâches demandées par l'enseignante.

- Lors des thèmes 2 et 3 (jusqu'à la minute 55), 90% des épisodes dont la topogénèse est sous la responsabilité des élèves sont associés à une forme de communication de type interactive/autoritative. La tâche effectuée par les élèves est alors un travail de groupes sur documents.

Le jeu n°2 du thème 2 consiste en effet pour les élèves à construire un argumentaire à partir de documents fournis¹³⁰ par l'enseignante. C'est ce qu'elle justifie dans l'entretien ante [Ante 3] :

3. E :	Donc là <i>ils vont analyser le document d'expertise</i> et ils ont pour consignes de préparer un exposé de 5 minutes donc j'insiste sur c'est vraiment un vrai document d'expertise avec tu sais fait comme dans la communauté scientifique avec toutes les références et tout donc j'insiste pour qu'ils regardent bien tout ce qui est chiffres <i>qu'ils analysent bien de qui ça vient, qu'ils donnent la source, etc.</i> voilà donc là je passe je vais quand même aller les voir pendant je les laisse pas 15 minutes tous seuls je regarde un peu comment ils s'en sortent et pareil pour l'autre groupe qui est chargé de mettre en cause <i>je les mettrai dans l'autre salle donc tu vois ils seront dispatchés</i> je veux pas qu'ils soient ensembles qu'ils puissent travailler là tous seuls et les citoyens donc eux ils seront dans cette salle et en fait ils préparent là des questions ils ont des questions à poser donc ça c'est donc avant
--------	--

Les élèves « analysent » des documents d'expertise et préparent un exposé, dans 3 groupes distincts, disposés dans 3 salles différentes. La topogénèse est alors sous la responsabilité des élèves car ce sont eux qui prennent en charge l'évolution du milieu. De même, la forme de communication est de type autoritative, car le rôle joué et la nature des documents font que la référence est unique : celle du rôle qu'ils ont à jouer.

De même, les jeux n°1 (restituer l'expertise du GIEC) et n°2 (restituer l'expertise des sceptiques) du thème 3 sont essentiellement sous la responsabilité des élèves, car ce sont les experts qui présentent leur travail [Ante 3] :

3. E :	après pendant le débat donc <i>les experts ils exposent 5 minutes chacun là les citoyens parlent pas ils écoutent</i> et les citoyens eux pendant l'exposé ils ont une fiche si tu veux où ils remettent les principaux arguments des experts
--------	---

Cette présentation se fait sans interruption. La forme de communication est alors non-interactive et autoritative, puisque dans chaque jeu, un seul point de vue est exprimé.

- Lors des thèmes 3 (à partir de la minute 55) et 4, 100% des épisodes dont la topogénèse est sous la responsabilité des élèves sont associés à une forme de communication de type dialogique / interactive. La tâche des élèves est alors de débattre (80% de ces épisodes) ou de trouver un consensus au sein du groupe des citoyens (20% de ces épisodes).

La forme de communication change en effet à partir de la minute 55 du thème 3. Après que chaque groupe d'experts a exposé son argumentation, un débat s'engage (jeu 3 du thème 3): des perspectives contraires sont alors mises en avant, comme dans l'exemple suivant [T 358-360] :

358. Guillaume :	<i>Pour le GIEC oui alors que pour certains scientifiques comme Von Storch lui il est contre les thèses du GIEC et notamment celles de Mann le scientifique qui a écrit que le réchauffement climatique causé par l'homme et notamment par le dégagement du CO₂ serait dû par l'homme alors que Von Storch lui il dit que les premiers âges</i>
------------------	--

¹³⁰ Nous renvoyons le lecteur aux annexes pour prendre connaissance des documents distribués (annexes, pp. 310-322).

des relevés météorologiques sont trop jeunes pour pouvoir dire que c'est juste à cause de l'homme que les températures changent alors que bien avant les températures elles changeaient déjà

359. Cédric :

Oui mais l'homme il accentue peut-être pas un petit peu ce phénomène

360. Guillaume :

Bah ça on sait pas vu qu'on a pas les relevés de température anciens

Guillaume, qui joue le rôle d'un expert climato-sceptique développe sa thèse, en rappelant la thèse du GIEC et en développant une thèse alternative : le changement climatique n'est pas forcément dû à l'homme car les mesures ne sont pas assez précises pour conclure. De même, dans l'échange suivant [T 383-386], Guillaume et Clément, qui jouent les rôles d'experts pour l'un du GIEC et pour l'autre climato-sceptique, exposent chacun une perspective opposée sur les mesures à prendre :

383. Guillaume :

Moi je pense que l'action de l'homme elle est minime sur la planète vu l'étendue de la planète donc c'est pas forcément en diminuant les émissions de CO₂ qu'on arrivera à diminuer le réchauffement climatique c'est d'abord c'est un phénomène qui se produit tout seul en fait même si l'homme joue un peu

384. ??? :

C'est cyclique

385. Guillaume :

Mais oui

386. Clément :

Pour revenir à la question posée par ce cher monsieur je lui répondrai que pour effectivement diminuer les quantités de CO₂ et donc le réchauffement il faudrait modérer les activités humaines dans l'agriculture l'industrie et autres domaines que l'homme se modère tout à fait oui

Pour Guillaume, « l'action de l'homme est minime » donc « c'est pas forcément en diminuant les émissions de CO₂ qu'on arrivera à diminuer le réchauffement climatique » [T 383]. Clément exprime au contraire qu' « il faudrait modérer les activités humaines dans l'agriculture [et] l'industrie » [T 386].

On retrouve également par la suite une forme de communication dialogique, associée à une topogénèse sous la responsabilité des élèves, lors des jeux n°1 et 2 du thème 4 (voir annexes, [T 451-470], pp. 368-369 et [470-585], pp. 369-375), quand les élèves-citoyens construisent collectivement leurs propositions puis en débattent avec le reste de la classe.

L'évolution de la forme de communication est ici liée aux tâches demandées aux élèves. La construction d'un argumentaire relevant d'une expertise bien particulière se joue dans une forme autoritative (thème 2), mais c'est justement ce temps passé sur une référence unique qui fait que les élèves peuvent débattre des références contradictoires construites (thèmes 3 et 4). Autrement dit, il nous semble ici que la concentration des formes dialogiques de communication lors des thèmes 3 et 4 n'est rendue possible que par le travail différencié (par groupe) sur une référence unique et à travers une forme de communication autoritative.

14.2.1.4 Une topogénèse mixte, quand les savoirs font l'objet d'une construction conjointe ou à des fins de dévolution

Deux types de topogénèse mixte ont lieu dans la séance B₂.

Tout d'abord, les épisodes de topogénèse mixte qui ont lieu lors des formes d'organisation en classe entière sont mis en œuvre quand l'enseignante cherche à ce que les élèves participent à la construction du savoir à institutionnaliser.

L'exemple suivant illustre cette topogénèse mixte. Il s'agit du jeu n°3 du thème 1 (décrire les participants des conférences de citoyens). L'enseignante définit tout d'abord le jeu puis régule le jeu [T 13-26] :

13. E :	(...) (1 :03) donc est-ce que vous savez qui est-ce qu'il y a dans ces conférences de citoyens (1 :07)
14. ?? :	<i>Des citoyens</i>
15. E :	Il y a des citoyens ouais il y a des citoyens et que ça est-ce que <i>c'est des citoyens qui parlent entre eux</i>
16. ?? :	Non il y a des professionnels il y a des professionnels du sujet des gens qui s'y connaissent
17. E :	Des professionnels du sujet c'est-à-dire ?
18. Didier :	Il doit y avoir comme un président de jury <i>des personnes qui présentent le sujet</i> et ils débattent concrètement entre
19. E :	Et à votre avis <i>ces personnes qui présentent le sujet c'est juste elles présentent un avis et après ensuite les citoyens écoutent</i> ou comment
20. ?? :	Non elles défendent leur thèse
21. E :	Oui <i>donc il y a plusieurs thèses</i>
22. ?? :	Oui sans doute
23. ?? :	Et après il y a les contre enfin
24. Anna :	Oui les XXXXXX
25. ?? :	Les contre-exemples et tout ça et après
26. E :	Bon voila (1 :45)

Dans cet extrait, les élèves et l'enseignante construisent conjointement le savoir à institutionnaliser : les élèves apportent des éléments au milieu et l'enseignante régule et oriente le jeu en ajoutant des détails (des citoyens *qui parlent entre eux*, des personnes qui présentent le sujet *et les citoyens écoutent*) afin que progressivement le savoir se construise. On retrouve également par la suite une topogénèse mixte de ce type dans les jeux du thème 5 (voir les annexes, [T 603-618], p. 376, et [T 620-638], pp. 376-377), quand l'enseignante institutionnalise les propriétés de l'expertise en lien avec la citoyenneté.

D'autres épisodes à topogénèse mixte ont lieu lors du travail de groupe. Cette topogénèse mixte est différente, car ce sont les élèves qui provoquent l'échange avec l'enseignante et l'enseignante agit pour construire avec les élèves un milieu dans lequel ils puissent jouer le plus adéquatement possible.

C'est par exemple le cas de l'extrait suivant, issu du jeu n°2 du thème 2 (construire son argumentation). L'enseignante est interpellée par le groupe des citoyens [T 96-104] :

96. Martin :	J'ai une question madame, c'est à quelle échelle
97. Cédric :	à l'échelle du monde ou de la France
98. E :	<i>En fait je vous ai laissé</i> qu'est-ce qui vous intéresse le plus vous vous aimeriez parler
99. Martin :	Du monde
100. E :	Alors voila si vous êtes capable de raisonner à l'échelle mondiale
101. Martin :	On sait pas aussi si l'eau elle monte beaucoup
102. E :	Et vous verrez suivant l'expertise que vous choisirez XXX <i>je vous ai laissé</i> et ou car je savais pas à quelle échelle vous vouliez vous situer vous pouvez aussi parler de pays émergents
103. Martin :	la Chine
104. E :	Voila voila après vous verrez en fonction de l'expertise que vous choisirez de toutes façons même si XXX <i>de toutes façons c'est bien de le ramener à une échelle supérieure</i>

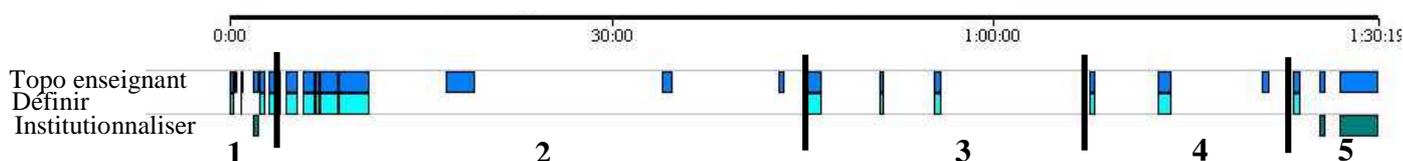
La topogénèse est ici mixte car ce sont les élèves qui ont l'initiative du milieu, ils apportent au milieu les éléments qu'ils leur semblent nécessaires. L'enseignante réagit alors à leurs sollicitations et précise le jeu qu'ils doivent jouer, dans le sens que les élèves ont eux-mêmes décidé (« je vous ai laissé », sous entendu le jeu est libre, et la décision prise est cohérente, « de toutes façons c'est bien » [T 104]). Cette topogénèse mixte est donc à la fois régulation du milieu et dévolution, car elle tend à renforcer l'engagement des élèves puisque ce sont eux-mêmes qui définissent une partie des règles.

On retrouve également par la suite une topogénèse mixte de ce type à divers endroits du même jeu n° 2 du thème 2 (voir les annexes, par exemple [T 83-92], p. 350 ; [T 105-117], p. 351 ; [T 182-203], pp. 354-356).

14.2.1.5 Une topogénèse du côté de l'enseignante dans les épisodes de définition des jeux et d'institutionnalisation des savoirs

L'enseignante prend complètement à sa charge les épisodes où les jeux sont définis et où les savoirs sont institutionnalisés.

C'est ce que montre l'évolution des descripteurs du graphique n°3-B₂ :



Graphique n°3-B₂ : Évolution de la topogénèse du côté de l'enseignante et des techniques définir et institutionnaliser lors de la séance B₂

On observe sur le graphique n°3-B₂ que la topogénèse est sous la responsabilité de l'enseignante notamment en début de séance. Il s'agit alors d'épisodes de jeux qui servent à définir les jeux qui vont venir et qui seront alors sous la responsabilité des élèves. On peut donc constater que l'enseignante utilise son poids topogénétique pour définir un milieu qui sera à la charge des élèves. De même, la topogénèse à la fin de la séance est sous la responsabilité de l'enseignante : elle donne sens à ce qui a été fait par les élèves dans la séance en institutionnalisant des savoirs (voir 14.3.1.3, p. 333).

14.2.1.6 Caractéristiques de la topogénèse de la séance B₂ : conclusions

Notre analyse topogénétique de la séance B₂ montre que :

- la topogénèse passe dans cette séance de la responsabilité de l'enseignante (thème 1) à une responsabilité simultanée (thème 2), puis est complètement sous la responsabilité des élèves (thèmes 3-4). En fin de séance, c'est à nouveau l'enseignante qui a la responsabilité de l'évolution du milieu et de l'avancée des savoirs (thème 5).
- la topogénèse est principalement sous la responsabilité des élèves dans cette séance : la forme de communication est tout d'abord autoritative, quand la référence est assurée par le rôle que les élèves doivent jouer au sein d'un groupe (groupes d'experts ou groupe des citoyens), puis dialogique quand les élèves interagissent entre groupes ;
- la topogénèse est sous la responsabilité des élèves quand l'organisation sociale de la classe n'est pas « en classe entière » ;
- quand la topogénèse est mixte, les savoirs font l'objet d'une construction commune ou bien il s'agit d'une dévolution de la tâche en cours pour les élèves ;
- la topogénèse est sous la responsabilité de l'enseignante lors des épisodes de définition des jeux (notamment en début de séance) et d'institutionnalisation des savoirs (notamment en fin de séance).

14.2.2 Une mésogénèse constituée à partir d'échanges entre élèves, régulée par l'enseignante par introduction d'éléments dans le milieu, et peu dense en savoirs

Nous abordons ici la mésogénèse dans les mêmes termes que dans les analyses précédentes. Nous nous intéressons en effet dans cette partie à la manière dont l'enseignante s'y prend pour faire évoluer le milieu, du point de vue des techniques utilisées dans la gestion du milieu. Nous réservons l'analyse de la mésogénèse du point de vue des savoirs à la partie 14.3 (voir p. 330).

Nous caractérisons donc dans la suite la mésogénèse du point de vue des formes que prend l'évolution du milieu, à travers les gestes mésogénétiques de l'enseignante :

- quels types d'interactions sont privilégiés ? (14.2.2.1) ;
- quelles techniques didactiques utilise-t-elle préférentiellement ? (14.2.2.2) ;

Nous développons ensuite ces techniques : régulation (14.2.2.3), institutionnalisation (14.2.2.4) et dévolution (14.2.2.5), avant de conclure sur les caractéristiques de la mésogénèse de la séance B₂, du point de vue de sa gestion par l'enseignante (14.2.2.6).

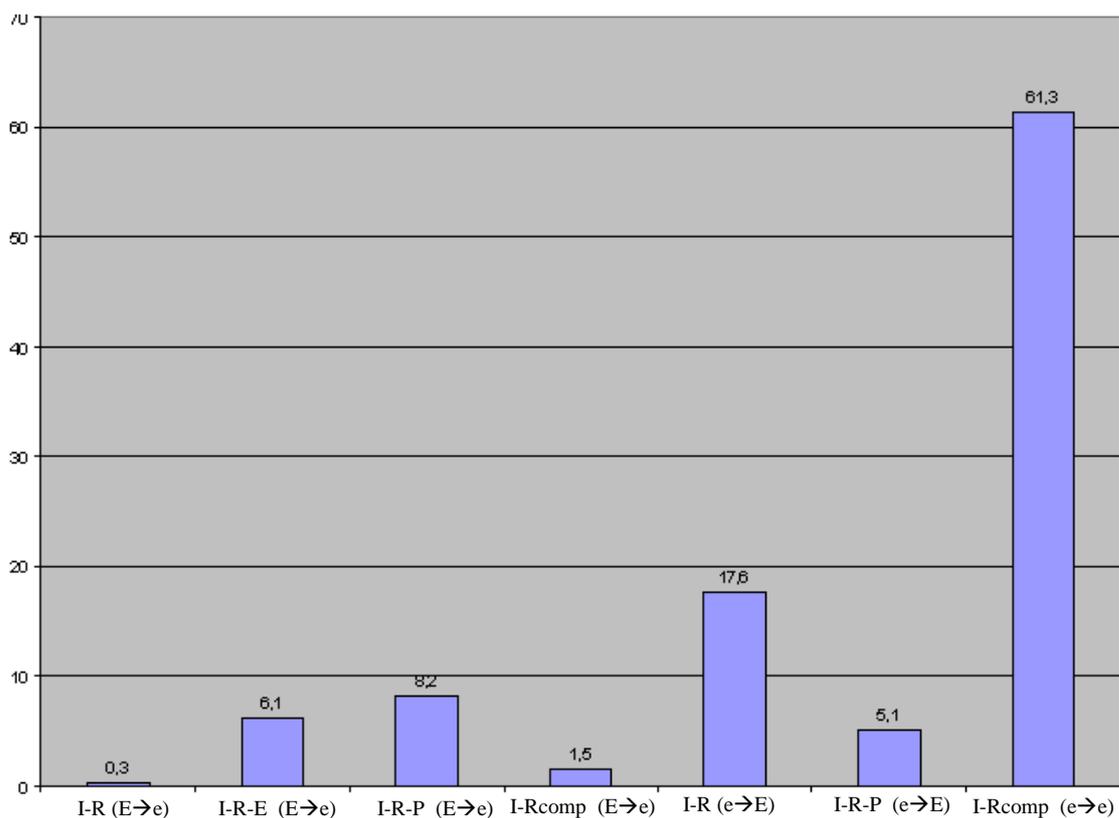
14.2.2.1 Les types d'interaction majoritairement à l'initiative de l'enseignante et entre l'enseignante et les élèves

On analyse la mésogénèse ici en décrivant les types d'interaction qui ont lieu lors de la séance, et les principaux gestes mésogénétiques qu'a l'enseignante.

Les formes de communication sont très majoritairement interactives (86.5% du temps de la séance) dans la séance B₂.

Les types¹³¹ que prennent les interactions sont de plus multiples (graphique n°4-B₂) :

¹³¹ Nous renvoyons le lecteur au chapitre 10 pour consulter le sens des abréviations utilisées (voir 10.3.4.2.5, p. 148).



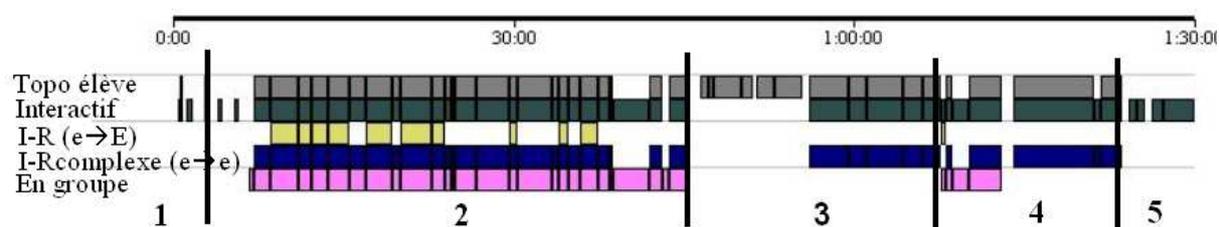
Graphique n°4-B₂ : Répartition (en % du temps des interactions) des types d'interaction lors de la séance B₂

Les formes privilégiées par l'enseignante B dans les interactions sont majoritairement de type :

- I-Rcomplexe (e→e) : celles-ci, pour lesquelles l'enseignante laisse les élèves échanger entre eux, occupent 61.3% du temps des interactions ;
- Les interactions de type I-R (e→E), pour lesquelles ce sont les élèves qui posent des questions à l'enseignante, occupent 17.6% du temps des interactions.

On remarque que l'enseignante intervient peu dans la séance et que les élèves ont une place très importante dans l'initiative, puisque 84% du temps des interactions est initié par ces derniers et que les interactions sont surtout entre eux.

Le graphique n°5-B₂ montre que l'on peut relier ces types d'interaction à la topogénèse et au type de travail fait :



Graphique n°5-B₂ : Evolution des types d'interaction I-R (e→E) et I-Rcomplexe (e-e), avec les descripteurs « topogénèse élève », « interactif » et « travail en groupe » lors de la séance B₂

On observe en effet sur le graphique n°5-B₂ que :

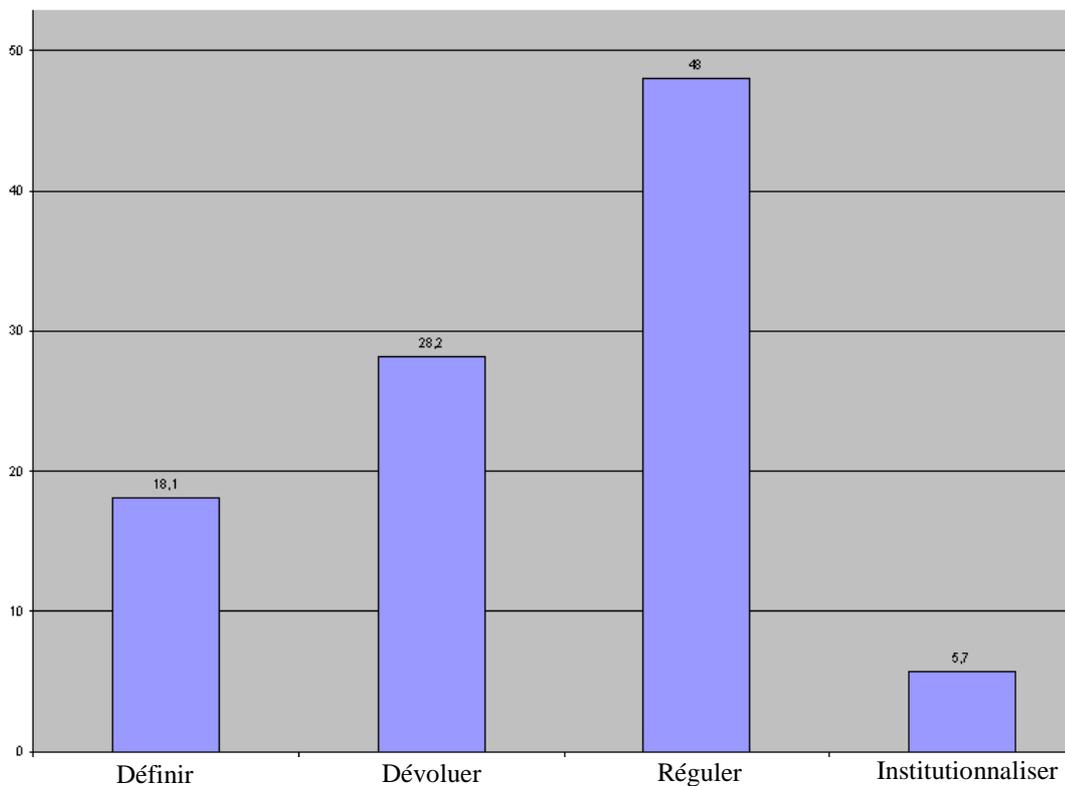
- les interactions de type I-Rcomplexe (e→e) sont associées aux épisodes dont la topogénèse est sous la responsabilité des élèves (sauf au début du thème 3, qui est non-interactif car il s'agit des exposés des groupes) : 100% des épisodes codés

« topogénèse élève » et « interactif » ont une interaction de type complexe entre élèves ;

- les interactions de type I-R ($e \rightarrow E$) sont associées au thème n°2, lorsque les élèves travaillent en groupe sur les documents : 10 épisodes sur les 11 épisodes codés « I-R ($e \rightarrow E$) » se déroulent effectivement dans le thème n°2 (le changement climatique, une perspective unique et dépendante du rôle joué).

14.2.2.2 La technique didactique « réguler » prédomine dans la mésogénèse

Le graphique n°6-B₂ montre la répartition dans le temps des différentes techniques didactiques utilisées par l'enseignant :



Graphique n°6-B₂ : Répartition (en % du temps de la séance) des techniques didactiques lors de la séance B₂

Trois éléments nous semblent importants dans le graphique n°6-B₂ :

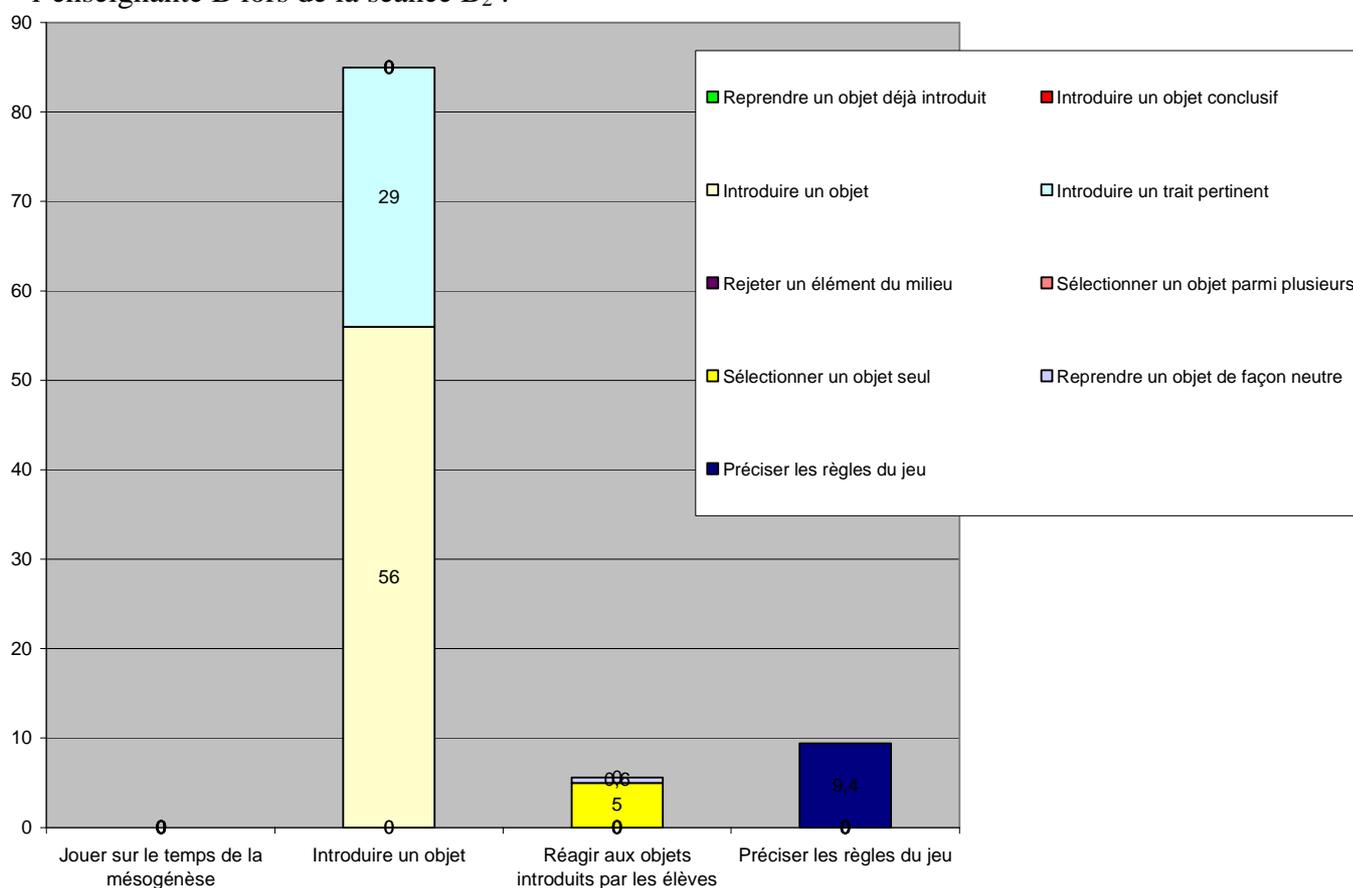
- la technique principale utilisée par l'enseignant est la régulation ;
- de nombreux épisodes participent à la dévolution ;
- il y a peu d'épisodes d'institutionnalisation.

Nous analysons plus précisément les techniques « réguler » (14.2.2.3), « institutionnaliser » (14.2.2.4) et dévoluer (14.2.2.5) dans les paragraphes qui viennent.

14.2.2.3 L'enseignante régule le jeu en apportant des éléments au milieu

L'enseignante B utilise plusieurs techniques pour contrôler l'évolution du milieu.

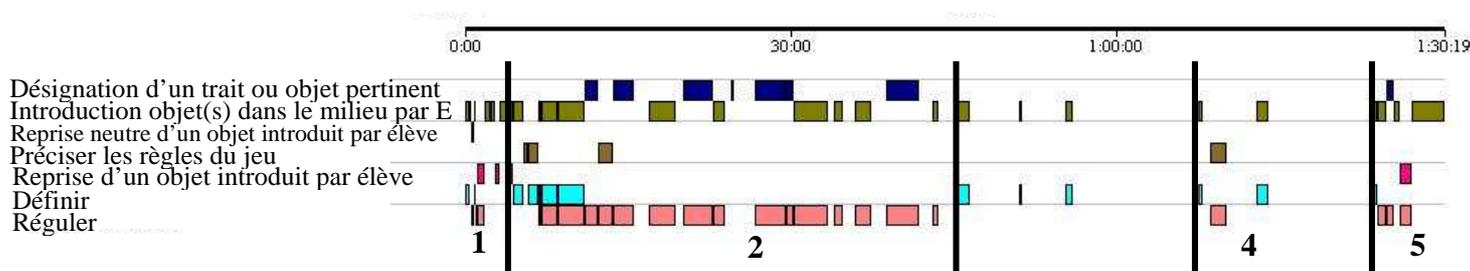
Le graphique n°7-B₂ montre la répartition des techniques de régulation utilisées par l'enseignante B lors de la séance B₂ :



Graphique n°7-B₂ : Répartition (en % du temps de la séance) des techniques mésogénétiques utilisées par l'enseignante B lors de la séance B₂

On remarque que la technique principale de régulation utilisée par l'enseignant est essentiellement d'introduire des objets dans le milieu. On remarque également que l'enseignante réagit très peu aux objets introduits par les élèves dans le milieu, car elle souhaite qu'ils se débrouillent tous seuls.

Nous développons davantage ces deux points en analysant la répartition des techniques mésogénétiques dans la séance (graphique n°8-B₂) :



Graphique n°8-B₂: Evolution de quelques descripteurs liés à la mésogénèse lors de la séance B₂

Nous observons sur le graphique n°8-B₂ que :

- l'enseignante régule le milieu essentiellement lors du thème n°2 (construire une argumentation) : 77% des épisodes où l'enseignante régule sont dans le thème 2 (17 épisodes sur 22) ;
- dans le thème 2, l'enseignante introduit des objets dans le milieu (53% des épisodes dans lesquels il y a une régulation) et désigne des éléments pertinents issus des documents soumis aux élèves (41% des épisodes dans lesquels il y a une régulation). Dans ce cas, elle ne réagit pas aux objets introduits par les élèves, mais les aide à s'approprier les documents en clarifiant leur contenu.

Deux types de régulation sont alors mis en œuvre dans le thème 2 par l'enseignante B :

- une régulation qui porte sur la nature des documents fournis : l'enseignante introduit alors des objets dans le milieu ;
- une régulation qui porte sur le contenu des documents : l'enseignante désigne alors un trait pertinent dans les documents ;

Nous illustrons la première forme de régulation par l'exemple suivant, issu du jeu n°2 du thème 2 (construire son argumentation) [T 84] :

84. E :	<i>Juste je voulais vous dire les documents ils sont vraiment construits comme des documents scientifiques c'est-à-dire pour la communauté scientifique lorsqu'ils échangent entre eux ils si vous voulez ils mettent en forme comme ça vous avez toutes les références par exemple à tous les textes des scientifiques qui ont écrits qui sont cités dans l'article en fait oui tu me dis Clément</i>
---------	--

Cet échange entre l'enseignante et les élèves du groupe d'experts du GIEC est significatif de cette manière de réguler le milieu : l'enseignante introduit ici un objet qui concerne la nature des documents fournis, c'est-à-dire des documents « construits comme des documents scientifiques ».

L'enseignante introduit la même idée dans les autres groupes, comme par exemple dans le groupe des citoyens [T 118] :

118. E :	<i>Je vous donne ça aussi pour chacun ça dépend de ce qu'ils exposeront c'est un peu pour fixer les idées donc vous voyez les principales idées et théories que le groupe défend les scientifiques auxquels ils se réfèrent c'est ce que je leur expliquais en fait les documents sur lesquels ils travaillent c'est construit voyez comme un document de travail de l'expertise scientifique c'est-à-dire avec des références d'articles scientifiques des références de scientifiques et bien voilà si vous arrivez à les identifier et quels sont les organismes pour lesquels ils travaillent ça je vous en laisse un chacun</i>
----------	--

Le deuxième type de régulation concerne une aide de l'enseignante par rapport aux documents qui sont fournis. L'extrait suivant montre comment l'enseignante clarifie certaines informations du document pour que les élèves jouent adéquatement au jeu proposé [T 280-285] :

280. Clément :	<i>C'est le pourcentage qui rejette quoi</i>
281. E :	<i>Oui c'est ça</i>
282. Clément :	<i>Mais quoi</i>
283. E :	<i>C'est le CO₂</i>
284. Clément :	<i>Ah bon</i>
285. E :	<i>Ca c'est ton pourcentage d'accord ça okay ah si tu dois l'avoir quelque part le A B C ou alors c'est incomplet mon truc donc A c'était de la déforestation okay donc suivant les années ça c'est à mon avis c'est la même façon</i>

Nous renvoyons le lecteur aux annexes pour davantage d'exemples de cette forme de régulation ([T 83-92], p. 350 ; [T 105-117], p. 351 ; [253-269], p. 358).

14.2.2.4 Peu d'institutionnalisations de savoirs

Le graphique n°9-B₂ montre que les seuls épisodes d'institutionnalisation ont lieu en début et en fin de séance :



Graphique n°9-B₂ : Evolution du descripteur « institutionnaliser » lors de la séance B₂

Il y a donc très peu de savoirs institutionnalisés dans cette séance : ceux-ci concernent la nature des conférences de citoyens (thème 1) et les propriétés de l'expertise en lien avec la citoyenneté (thème 5).

14.2.2.5 Différentes échelles de dévolution

L'enseignante utilise dans la séance B₂ deux modalités de dévolution.

- Tout d'abord, l'enseignante dévoue le jeu en cours. Cette dévolution consiste par exemple à encourager les élèves lors du travail de groupe (thème 2) :

80. E :	Ca va je vous ai laissé c'est bon
105. E :	Ca va vous vous en sortez
168. E :	Mais ça va quoi je pense que vous y arriverez

- On observe également qu'une série de jeux peuvent servir à dévoluer les jeux futurs. C'est par exemple le cas des premiers jeux de la séance (thème 1) : l'enseignante interroge successivement les élèves sur le but des conférences de citoyens (jeu 2), la nature des participants (jeu 3) et la problématique choisie, la politique énergétique de la France (jeu 4). Ces jeux successifs servent à commencer à construire le jeu de rôle qui sera joué à partir du thème 2. En ce sens, le thème 1 constitue une dévolution des jeux à venir, du point de vue de la structure du jeu de rôle et de la distribution des rôles.

On note toutefois que contrairement aux analyses précédentes, cette séance est « autonome », car aucun savoir antérieur n'est explicitement convoqué par l'enseignante et cette séance n'anticipe pas une reprise de ces savoirs dans des séances postérieures.

14.2.2.6 Caractéristiques de la mésogénèse, vue depuis les gestes de l'enseignant de la séance B₂ : conclusions

Nous présentons ici quelques caractéristiques de la mésogénèse lors de la séance B₂ :

- les interactions sont essentiellement entre élèves et l'initiative est majoritairement le fait des élèves dans les échanges avec l'enseignante (notamment lors du travail en groupe) ;
- l'enseignante introduit essentiellement des objets dans le milieu et ne veut pas se saisir de ceux que les élèves introduisent pour leur laisser la responsabilité de l'évolution du milieu. Les gestes de régulation portent essentiellement sur la nature et le contenu des documents supports des jeux du thème 2 (construire un argumentaire / questionnaire) ;

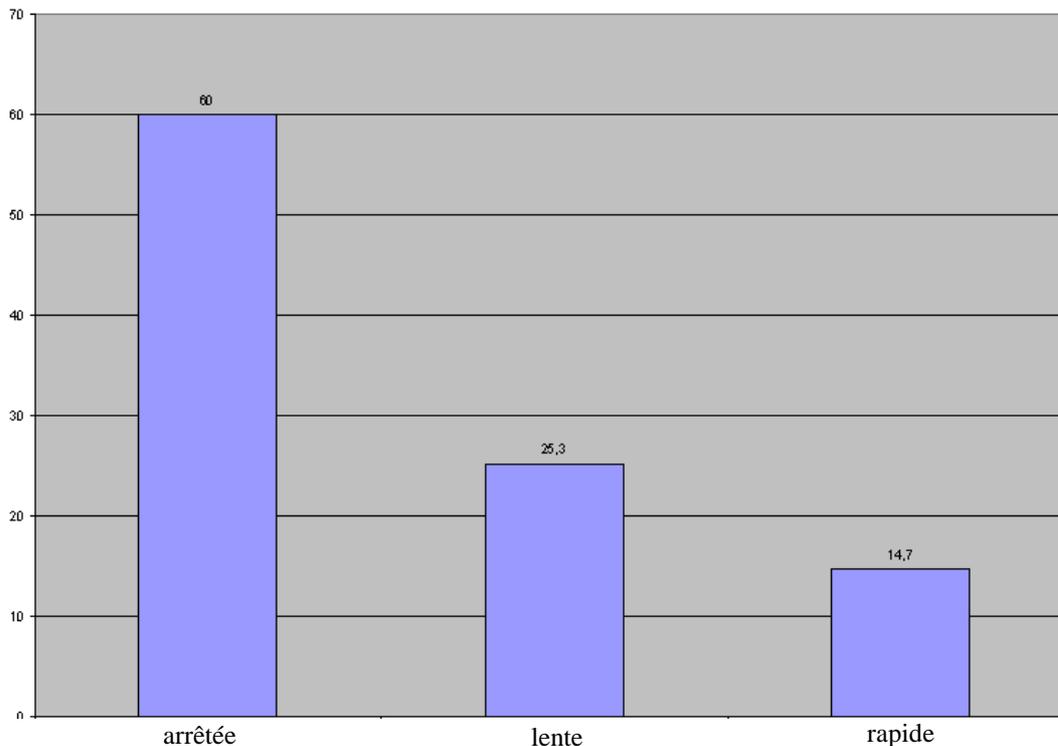
- il y a peu de savoirs institutionnalisés (thème 1 et thème 5) ;
- la dévolution porte sur les jeux en cours ou bien à venir dans la séance (comme les jeux du thème 1 qui servent à dévoluer le jeu de rôle qui va être joué).

14.2.3 Une chronogénèse « intégrative » d'énoncés majoritairement empiriques

Nous nous attachons ici à décrire l'évolution chronogénétique, en regardant le rythme de succession des jeux d'apprentissage (14.2.3.1), et les types d'énoncés qui participent à la chronogénèse (14.2.3.2).

14.2.3.1 Une chronogénèse « intégrative »

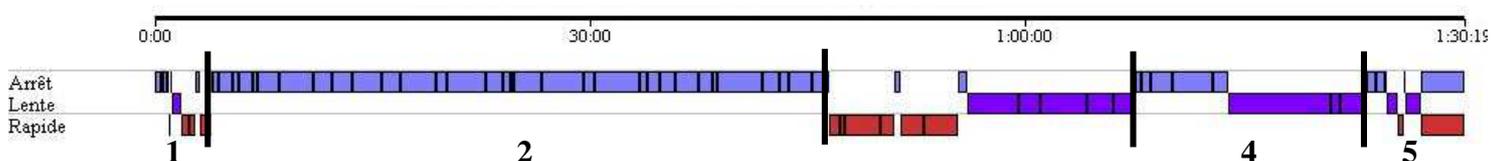
Le graphique n°10-B₂ montre la répartition en temps des différentes modalités de la chronogénèse.



Graphique n°10-B₂: Répartition (en % du temps de la séance) de la chronogénèse lors de la séance B₂

On remarque ainsi que la chronogénèse est souvent arrêtée (60% du temps de la séance), ce qui signifie que la formulation des savoirs à enseigner ne progresse pas. La chronogénèse est lente pour 25.3% du temps de la séance et rapide pour 14.7% du temps de la séance.

Nous pouvons préciser cette répartition en nous intéressant à l'évolution des descripteurs liés à la chronogénèse lors de cette séance : c'est ce que montre le graphique n°11-B₂ :



Graphique n°11-B₂ : Evolution de la chronogénèse lors de la séance B₂

Nous observons alors que :

- il y a une partie principale où la chronogénèse est arrêtée. Il s'agit des jeux du thème 2, dont l'organisation sociale est en groupe, et joués dans des salles séparées. En effet, des savoirs différents avancent au sein de chaque groupe, mais aucun n'est partagé par l'ensemble de la classe ;
- à partir du thème 3, on observe une décélération de la chronogénèse : elle est tout d'abord rapide (jeux n°1 et n°2 : restitution des experts), puis lente (jeu n°3 : débat) et enfin s'arrête au début du thème 4 (jeu n°1 : construction de l'argumentation des citoyens), quand l'organisation sociale de la classe est à nouveau en groupe ;
- la chronogénèse s'accélère à nouveau à partir du jeu n°2 du thème 4 (débatte des propositions des citoyens) jusqu'à la fin de la séance.

Il s'agit ici d'une chronogénèse «intégrative » car les différentes parties alimentent et conditionnent les suivantes : la chronogénèse arrêtée du thème 2 est un moment où les argumentations des différents groupes sont « privées », dans le sens où elles sont internes aux différents groupes, la chronogénèse rapide du début du thème 3 est alors un compte rendu public et partagé de ces argumentations. Lors des débats (jeux n°2 du thème 3 et du thème 4), la chronogénèse est lente car un consensus se construit progressivement à partir des argumentations rendues publiques dans les jeux précédents. Autrement dit, les jeux d'apprentissage intègrent à leur structure la succession des jeux précédents, sans lesquels ils ne peuvent être joués et les enjeux des jeux précédents se retrouvent à nouveau en jeu dans les nouveaux jeux.

On qualifie donc cette chronogénèse d'« intégrative » à rythme lent, dans le sens où la chronogénèse est majoritairement « arrêtée ».

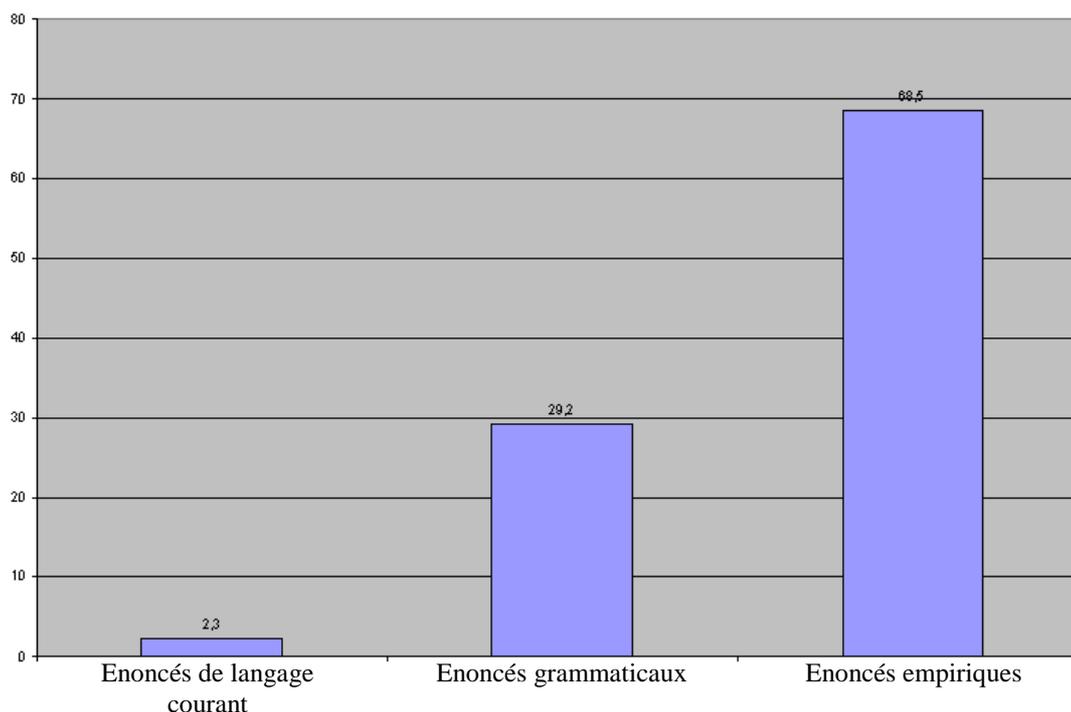
14.2.3.2 Un enseignement d'énoncés empiriques

Comme dans les analyses précédentes, nous avons catégorisé les types d'énoncés¹³² qui caractérisent l'enjeu des jeux joués :

- des énoncés de langage courant : l'enjeu du jeu se fonde dans ce cas sur l'émergence d'énoncés dits dans le langage courant ;
- des énoncés grammaticaux : ce sont des énoncés qui constituent des règles des jeux de langage joués ;
- des énoncés empiriques : ce sont des énoncés qui sont des « coups » dans les jeux de langage joués.

Nous rendons compte dans le graphique n°12-B₂ de la répartition (en % du temps de la séance) des types d'énoncés lors de la séance B₂ :

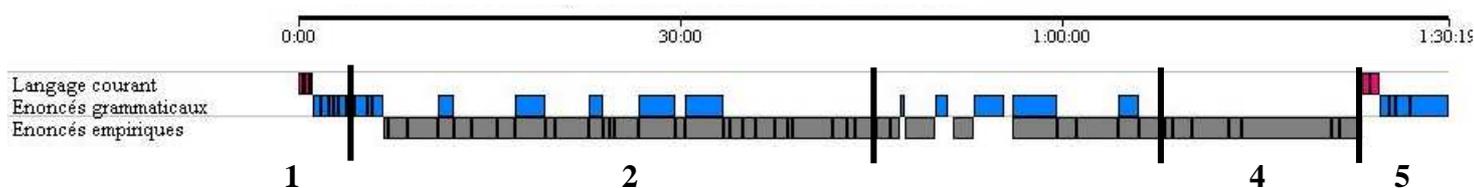
¹³² Nous renvoyons le lecteur à la partie 10.3.4.2.6 (p. 149) pour une définition des différents types d'énoncés.



Graphique n°12-B₂: Répartition (en % du temps de la séance) des types d'énoncés lors de la séance B₂

Nous observons donc à partir du graphique n°12-B₂ que les énoncés scientifiques sont majoritairement de type empirique dans cette séance. Nous analysons dans la partie 14.3 la nature et la fonction jouée par ces différents types d'énoncés.

Le graphique n°13-B₂ indique l'évolution dans la séance de ces descripteurs :



Graphique n°13-B₂ : Evolution de la répartition des types d'énoncés au cours de la séance B₂

Nous remarquons sur le graphique n°13-B₂ que :

- des énoncés de type grammaticaux ouvrent (thème 1) et ferment la séance (thème 5) : ces thèmes correspondent à une topogénèse sous la responsabilité de l'enseignante (voir 14.2.1.5, graphique n°2-B₂, p. 319) ;
- des énoncés grammaticaux et empiriques sont mêlés dans certains jeux : dans le thème 2, les énoncés grammaticaux sont portés par l'enseignante alors que les énoncés empiriques sont portés par les élèves (travail simultané dans des groupes différents) et dans le thème 3, les deux types d'énoncés sont portés par les élèves.

Nous développerons ces points dans la partie 14.3 (p. 330).

14.2.3.3 Caractéristiques de la chronogénèse de la séance B₂ : conclusions

Nous synthétisons ici les principales caractéristiques de la chronogénèse pour la séance B₂ :

- la séance est une succession de jeux à chronogénèse intégrative;
- les énoncés empiriques sont majoritaires ;
- les énoncés grammaticaux sont majoritaires en début (thème 1) et fin de séance (thème 5), quand la topogénèse est sous la responsabilité de l'enseignante ;
- dans le thème 2, les énoncés grammaticaux sont portés par l'enseignante alors que les énoncés empiriques sont portés par les élèves et dans le thème 3, les deux types d'énoncés sont portés par les élèves.

14.2.4 Conclusions

Une topogénèse majoritairement sous la responsabilité des élèves, qui commence et finit sous la responsabilité de l'enseignant

L'action conjointe prend successivement des formes différentes dans la séance B₂.

La topogénèse passe tout d'abord dans cette séance de la responsabilité de l'enseignante (thème 1 – classe entière) à une responsabilité simultanée (thème 2 – travail de groupe), dans laquelle l'exploitation de documents tient une place centrale puisque ceux-ci fondent la référence autoritative des formes de communication. Le thème 3 est toujours sous la responsabilité des élèves, mais l'enseignante n'intervient pas dans le milieu (jeu n°1 du thème 3 : exposé des groupes experts), car elle laisse les élèves-experts présenter leur argumentaire puis débattre entre eux. Finalement, la topogénèse reste sous la responsabilité des élèves, mais les formes de communication deviennent dialogiques (thèmes 3-4 : travail de groupes - débat). En fin de séance, la topogénèse revient sous la responsabilité de l'enseignante (thème 5 – classe entière), quand elle institutionnalise les savoirs mobilisés dans la séance.

Nous observons donc dans cette séance qu'une organisation de la classe autre qu'« en classe entière » favorise une topogénèse du côté des élèves. Nous remarquons de plus que les épisodes de topogénèse mixte relèvent d'une construction conjointe des savoirs à institutionnaliser (thèmes 1 et 5) ou bien d'une dévolution de la tâche en cours (thème 2). La topogénèse est alors sous la responsabilité de l'enseignante au début de la séance pour définir et dévoluer le jeu de rôle qui va être joué, puis en fin de séance pour institutionnaliser les savoirs.

Une mésogénèse majoritairement interactive et entre élèves, dans laquelle l'enseignante n'intervient que pour s'assurer que les élèves jouent le jeu de rôle

Les formes de communication sont interactives, très majoritairement entre élèves. Ils sont également très majoritairement à l'initiative des interactions, entre eux mais aussi avec l'enseignante. L'enseignante introduit des objets dans le milieu mais réagit très peu aux objets introduits par les élèves : son rôle consiste donc à introduire des éléments de façon à faire vivre le milieu, sans l'influencer davantage, puisqu'elle laisse aux élèves la maîtrise de leurs propres objets. Les gestes de régulation portent essentiellement sur la nature et le contenu des documents supports des jeux du thème 2 (construire son argumentation). On relève également que peu de savoirs sont institutionnalisés (thème 1 et thème 5) et que les épisodes de dévolution concernent le jeu en cours ou bien les jeux à venir. Il n'y a pas de rappel ou d'annonces d'éléments étrangers à la séance.

Une chronogénèse intégrative d'énoncés majoritairement empiriques et peu de savoirs institutionnalisés

La séance est une succession de jeux d'apprentissage à chronogénèse « intégrative », car les jeux dépendent les uns des autres et le nouveau jeu joué fait un enjeu de l'enjeu du jeu précédent, suivant une nouvelle modalité. Nous observons que les énoncés empiriques sont majoritaires dans cette séance. Toutefois, les énoncés grammaticaux sont portés par l'enseignante et les énoncés empiriques sont portés par les élèves dans le thème 2, puis les deux types d'énoncés sont portés par les élèves lors du thème 3.

Nous remarquons également que les épisodes d'institutionnalisation (la topogénèse est alors sous la responsabilité de l'enseignante) portent sur des énoncés grammaticaux (thèmes 1 et 5).

14.3 La nature des savoirs enseignés

Nous complétons l'analyse précédente en analysant les jeux de langage qui sont joués lors de la séance B₂. Nous affinons alors notre compréhension de la mésogénèse et de la chronogénèse en spécifiant la nature et la fonction des différents types d'énoncés :

- l'enseignement d'énoncés grammaticaux par l'enseignante en début et fin de séance (14.3.1) ;
- des énoncés grammaticaux portés par l'enseignante et empiriques portés par les élèves lors de la préparation du jeu de rôle (14.3.2) ;
- des énoncés majoritairement empiriques dans le jeu de rôle (14.3.3).

14.3.1 L'enseignement d'énoncés grammaticaux : une syntaxe explicite sur le fonctionnement des technosciences

14.3.1.1 Le modèle de la conférence de citoyens

L'enseignante présente dès le début de la séance l'objectif qu'elle vise pour la séance [T 1] :

1. E :	c'est bon ? ça y est alors l'objectif de la séance d'aujourd'hui <i>c'est de vous mettre en situation de débat sur un modèle de conférence de citoyens</i> je sais pas si vous avez déjà entendu comme ça ou si vous avez eu vent d'exemples de conférences de citoyens
--------	---

Il ne s'agit donc pas ici d'un objectif propre à un savoir particulier, car c'est l'activité des élèves qui est mise en avant : « il s'agit de vous mettre en situation de débat ». Les premiers jeux de la séance vont alors consister à préparer progressivement cette « mise en situation de débat » en construisant un « modèle de conférence de citoyens ».

Les deux premiers jeux permettent de contextualiser la conférence de citoyens puisqu'un exemple est donné (les nanotechnologies) et une de ses fonctions est abordée (« savoir ce que pensent les gens » [T 12]).

L'enseignante définit alors un troisième jeu dont l'enjeu est l'identification des principaux acteurs de ces conférences. Cet enjeu se rapproche alors de la mise en situation puisque l'identification des acteurs conduira à identifier les rôles attribués dans la « mise en

situation ». Il s'agit donc pour l'enseignante de faire le lien entre la conférence des citoyens et son « modèle » à fonction didactique.

L'enseignante régule alors le jeu de façon à ce que les élèves trouvent les réponses attendues :

15. E :	Il y a des citoyens ouais il y a des citoyens <i>et que ça est-ce que c'est des citoyens qui parlent entre eux</i>
16. ?? :	Non <i>il y a des professionnels il y a des professionnels du sujet des gens qui s'y connaissent</i>
17. E :	Des professionnels du sujet c'est-à-dire ?
18. Didier :	Il doit y avoir comme un président de jury des personnes qui présentent le sujet et ils débattent concrètement entre
19. E :	Et à votre avis ces personnes qui présentent le sujet <i>c'est juste elles présentent un avis et après ensuite les citoyens écoutent ou comment</i>
20. ?? :	Non elles défendent leur thèse
21. E :	Oui <i>donc il y a plusieurs thèses</i>
22. ?? :	Oui sans doute
23. ?? :	Et après il y a les contre enfin
24. Anna :	Oui les XXXXXX
25. ?? :	Les contre-exemples et tout ça et après
26. E :	Bon voilà (1:45)

Dans l'extrait précédent, l'enseignante ajoute des éléments à chacune des interventions des élèves pour relancer l'interaction : quand les élèves identifient les citoyens comme acteurs, l'enseignante focalise sur l'action des citoyens « est-ce que c'est des *citoyens qui parlent entre eux ?* » [T 15]. De même, l'intervention d'un élève : « elles défendent leur thèse » [T 20], est transformée par l'enseignante en : « oui donc il y a plusieurs thèses ? » [T 21].

Les autres protagonistes de la conférence de citoyens sont présentés par un élève comme « des professionnels du sujet », « des gens qui s'y connaissent » [T 16] et dont le rôle est de « présenter le sujet » [T 18].

Finalement, l'enseignante institutionnalise ce qui vient d'être dit et introduit le mot « expertise » :

26. E :	<i>alors pour faire rapide parce qu'on l'a simplifié aujourd'hui parce que c'est un peu plus compliqué que ça mais effectivement vous avez une présentation une expertise on va dire si c'est par exemple des nanotechnologies qui va expliquer on va dire tous les bienfaits et tout ce que peuvent apporter les nanotechnologies et aussi il y a les contre expertises qui vont qui vont un petit peu montrer des aspects peut-être moins positifs ou qui vont émettre quelques prudences par rapport à ça donc et les citoyens sont là assistent et donc à la fin proposent donc des choix au niveau de la société au niveau de ce qu'on peut en faire dans l'avenir d'accord</i>
---------	--

Tout d'abord, elle convient d'une simplification de la conférence, ce qui fait écho avec la notion de « modèle » qu'elle introduit en [T 1] et elle institutionnalise la procédure, qui renvoie par conséquent à la fois à une « réalité » (la conférence de citoyens telle qu'elle se pratique en société) et à l'activité scolaire qui va se dérouler (« la mise en situation »).

Dans ce modèle, la conférence de citoyens consiste en :

- la présentation d'une expertise « qui explique les bienfaits »
- la présentation d'une contre-expertise « qui va émettre des prudences »
- les citoyens « assistent et proposent des choix au niveau de la société ».

Dans cette institutionnalisation, l'enseignante met l'accent sur le rôle des citoyens plutôt que sur celui des experts : ils prennent des décisions en référence à des expertises, qui sont donc ici des savoirs particuliers. Les experts en tant que personnes physiques n'apparaissent donc pas. Les énoncés sont ici de nature grammaticale car la structure présentée par l'enseignante est un « modèle » dans le sens où cette structure est la fois celle d'une conférence de citoyens et celle de l'activité proposée aux élèves.

L'enseignante définit ensuite le 4^{ème} jeu du thème 1, qui prolonge le jeu précédent :

26. E : *(2 :18) donc alors aujourd'hui je vous propose de reproduire un peu ce modèle là et de travailler alors sur un thème c'est sur toute enfin sur la politique énergétique d'un pays on va prendre la France ou les pays émergents c'est-à-dire que les citoyens à l'issue du débat vont devoir pro faire 4 propositions en matière de politique énergétique donc alors politique énergétique énergie pour un pays est-ce que vous avez des idées est-ce que vous avez des idées d'axe de politique énergétique (2 :44)*

Elle commence en effet par rappeler l'objectif de la séance (« reproduire un peu ce modèle ») et contextualise la « mise en situation » à un thème particulier : la politique énergétique d'un pays. Elle dévolue alors le thème proposé en initiant un nouveau jeu sur les idées que peuvent avoir les élèves « d'axe de politique énergétique ». Les élèves répondent alors « le nucléaire » [T 27], « l'hydraulique » [T 29], « il faut favoriser les nouvelles énergies » [T 31]. L'enseignante accepte les différents éléments dans le milieu et conclue le jeu en définissant plus précisément ce qui va se passer dans la suite de la séance :

32. E : *Favoriser les nouvelles énergies alors déjà donc tu émetts un avis d'accord (3 :05) donc vous allez être alors vous allez être du coup 6 citoyens c'est ça oui 6 citoyens et vous allez devoir vous entendre pour à la fin proposer 4 axes donc de politique énergétique en fonction de ce que vous aurez entendu puisqu'il va y avoir toujours sur le modèle de conférence des citoyens vous allez avoir 2 expertises qui vont vous être exposées donc une expertise qui va défendre on va dire le réchauffement climatique comme étant dû à l'activité humaine et une autre thèse donc qui réfute cet argument là bon je vous en dis pas plus parce que l'intérêt c'est que les experts nous présentent ça (3 :48)*

Elle présente alors l'objectif de chacune des parties :

- les citoyens « vont devoir s'entendre et à la fin proposer 4 axes » de politique énergétique « en fonction » des expertises entendues. Il s'agit donc pour les citoyens de construire un consensus autour de 2 positions contradictoires.
- les experts sont divisés en 2 groupes : ceux qui « défendent le réchauffement climatique » et ceux qui « réfutent le réchauffement climatique » : leur objectif est alors de présenter chaque expertise (c'est « l'intérêt » du jeu de rôle).

14.3.1.2 Les règles grammaticales du modèle

Le premier jeu du thème 2 consiste à organiser le « modèle » de conférence des citoyens qui va être mis en place. L'enseignante introduit l'expression « jeu de rôle » [T 32], qu'un élève définit par « incarner la peau de quelqu'un » [T 36], pour qualifier cette activité de « modélisation ».

L'enseignante présente alors les règles du jeu de rôle :

45. E : *(...) les experts vous allez être mis dans deux pièces différentes une ici et à côté vous aurez des documents d'expertise donc fournis un qui défend la thèse scientifique du GIEC vous savez peut-être pas ce que c'est mais ce sera l'occasion aux experts de nous expliquer et puis une autre qui défend la thèse scientifique qui remet en cause le réchauffement climatique d'accord vous avez ce document là vous allez y travailler 15 minutes d'accord pour pouvoir ensuite le présenter aux citoyens pendant 5 minutes donc l'exposé durera 5 minutes on écoutera que vous que les experts hein il y aura pas de questions les questions viendront après voila*

Les conditions opérationnelles du modèle sont alors explicitées :

- les élèves – experts travaillent dans 2 salles séparées ;
- ils ont des « documents d'expertise » à leur disposition ;
- ils doivent exposer ces documents aux citoyens.

L'enseignante laisse même aux experts le soin d'expliquer aux autres ce qu'est le GIEC « vous savez peut-être pas ce que c'est mais ce sera l'occasion aux experts de nous expliquer » [T 45].

De la même façon, elle donne les règles du jeu aux citoyens :

53. E :	Les citoyens eux pendant ce temps <i>vous allez préparer les questions à poser</i> vous allez discuter un peu de poli d'énergie d'axes différents axes ensuite <i>il y aura la présentation 5 minutes je vous ai dit et le débat le débat environ 15 minutes</i> d'accord donc pendant la présentation les experts eux ils ont leurs documents et les citoyens vous devrez noter les principaux arguments que vous présentent les experts hein l'expert 1 et l'expert 2 et à la fin remettre au politique bon je jouerai le rôle du politique mais ce que <i>je vais vous demander bon à la fin c'est qu'un citoyen vienne solennellement nous présenter les 4 axes et donc si vous voulez le résultat de tout ce que vous aurez pu dire entre vous et de ce que vous aurez décidé pour la politique énergétique</i> voilà ça va pour ça pas de question particulière alors si vous voulez on se dispatche dès maintenant (6 :42)
---------	---

Le modèle est également opérationnalisé du point de vue des élèves-citoyens :

- les élèves – citoyens préparent des questions à poser aux experts ;
- ils débattent avec les experts ;
- ils se mettent d'accord sur 4 axes de politique énergétique ;
- ils présentent le résultat de leur réflexion.

L'enseignante définit les règles du jeu d'apprentissage qui va être joué, mais dans le même temps ces règles constituent également la structure du modèle de la conférence de citoyens. Autrement dit, il y a ici analogie entre la portée grammaticale des énoncés en tant que formes de représentations d'un certain fonctionnement de la science, et en tant que règles des jeux qui vont être joués (notamment par la distribution des rôles qu'impliquent les règles).

14.3.1.3 Les technosciences et la citoyenneté

L'enseignante fait le bilan du jeu de rôle lors du thème 5 et institutionnalise des savoirs liés au fonctionnement des technosciences et de la citoyenneté.

Après avoir demandé aux élèves leur ressenti par rapport au rôle qu'ils ont joué (jeu n°1 du thème 5), l'enseignante définit un nouveau jeu d'apprentissage [T 602] :

602. E :	Alors est-ce qu'il y a une vérité scientifique
----------	--

Les élèves participent au jeu et l'enseignante cherche à faire développer leurs réponses :

603. Didier :	<i>C'est des opinions</i>
604. Cédric :	<i>Bé pas forcément dans un groupe ou dans l'autre</i>
605. Jérémy :	<i>La vérité c'est quand on mélange les deux quoi</i>
606. Joffrey :	Voilà
607. E :	Et est-ce qu'à votre avis sur les sujets donc comme ça qu'on débat sur les sujets comme les OGM ou est-ce qu'il y a une vérité scientifique là
608. Cédric :	<i>Pour le moment non je pense parce que les études n'ont pas été assez poussées</i>
609. Guillaume :	<i>Tant que ça n'a pas été démontré ça ne peut pas être considéré comme vérité</i>
610. E :	Faut une démonstration mais qui c'est qui la fait la démonstration
611. Guillaume :	Bah les scientifiques mais bon <i>ils mettent du temps</i>
612. Mickaël :	Mais les scientifiques neutres
613. E :	Ils mettent du temps c'est ce que tu dis donc
614. Guillaume :	<i>Et il faut beaucoup d'argent aussi</i>
615. E :	De l'argent vous l'avez soulevé ça il faut de l'argent pour pouvoir faire des recherches
616. Guillaume :	Je crois après je sais pas mais je pense
617. Cédric :	Dans chacun des cas ils disent des choses justes
618. Anna :	Bah oui parce qu'au final enfin c'est un peu dû à l'activité humaine et un peu avec des facteurs climatiques (1 :25 :44)

Tout d'abord, les élèves s'accordent pour déclarer qu'il n'y a pas de vérité : ce sont « des opinions » [T 603], la vérité n'est dans aucune des expertises présentées [T 604], elle est dans leur synthèse [T 605].

Les élèves développent l'idée que la vérité est une question de preuve scientifique : « les études n'ont pas été assez poussées » [T 608], il faut plus « de temps » [T 611] et « plus d'argent » [T 614] pour poursuivre les recherches. Le rapport que les élèves entretiennent à la preuve est cohérente ici avec les recherches antérieures (voir 3.1.1.2.2.1 : la place fondamentale accordée à la preuve, p. 36).

L'enseignante institutionnalise alors des savoirs liés à la « science en action » :

619. E :	<i>D'accord donc vous soulevez très bien vous soulevez bien ce qui se passe on est vraiment dans la science en train de se faire donc effectivement on n'est pas dans une vérité scientifique c'est pas possible donc elle est en train de se construire donc il faut du temps le temps fait que peut-être on pourra trancher un jour on va dire fermement il faut de l'argent oui dans la science il faut de l'argent</i>
----------	--

Elle reprend alors les éléments introduits par les élèves : « il faut du temps », « dans la science il faut de l'argent ». De même, elle introduit l'incertitude inhérente à la science en action : « on est vraiment dans la science en train de se faire donc effectivement on n'est pas dans une vérité scientifique (...) elle est en train de se construire ». Elle développe par conséquent l'idée que la vérité se construit.

L'enseignante définit alors un 3^{ème} jeu, qui porte sur l'activité scientifique et son financement [T 619] :

619. E :	<i>donc est-ce que vous savez comment fonctionne qui paye les scientifiques comment ça fonctionne</i>
----------	---

Les élèves introduisent dans le milieu les sphères publique et privée de financement possible des laboratoires et expriment leurs doutes sur l'indépendance des scientifiques, notamment ceux du secteur public [T 632-637] :

632. Joffrey :	<i>Ca permet de contrôler les deux partis se contrôlent mutuellement</i>
633. Guillaume :	<i>Ils doivent être moins censurés aussi</i>
634. E :	<i>De censure est-ce que c'est encore</i>
635. Cédric :	<i>Ouais ils peuvent plus parler des choses qui dérangent dans le privé</i>
636. E :	<i>Dans le privé ils peuvent plus</i>
637. Cédric :	<i>Ouais je pense tandis que dans le public ça passe forcément par le gouvernement et si le gouvernement il a pas envie que des choses se sachent même si on dit qu'il y a la liberté d'expressions tout ça il y a toujours un petit peu de censure</i>

L'enseignante institutionnalise alors les savoirs en jeu [T 640-648] :

640. E :	<i>Oui c'est important oui s'il y a quelque chose que je voudrais vous transmettre aujourd'hui c'est un peu ça c'est effectivement sur cette science là qu'est en train de se faire c'est important de savoir d'où vient le discours d'accord bon après ça être citoyen et donc après être politique influencer le politique c'est s'appuyer sur une expertise et donc est-ce que lorsqu'on a une politique énergétique donc un choix de politique énergétique est-ce qu'il est neutre par rapport à son positionnement</i>
641. Clément :	<i>Il est jamais neutre</i>
642. E :	<i>Il est pas neutre</i>
643. Cédric :	<i>C'est impossible d'être neutre</i>
(...)	
646. E :	<i>Voilà donc ça veut dire quoi ça veut dire que quand on est citoyen et quand on va vous allez être amené à voter il y a un discours politique et ce discours politique il est appuyé sur un discours de scientifiques donc je pense que c'est très important et je pense que vous le voyez un peu plus là maintenant de voir sur quel type de discours scientifique le politique s'appuie et qu'est-ce qu'il veut faire passer aussi derrière vous l'avez soulevé là les taxes c'est un moment voilà c'est un moyen aussi de taxer que de que de que de prendre pour parti un discours qui dit voilà on pollue etc.</i>
647. Guillaume :	<i>Que c'est mauvais</i>
648. E :	<i>Voilà donc il y a pas de vérité il y a des décisions à prendre qui ne sont pas faciles il y a des avis différents et puis il y a surtout beaucoup de facteurs sociaux qui rentrent en compte vous avez parlé des pays émergents voilà les pays émergents ils vous diront ils ont le droit aussi aux richesses comme nous on a eu droit à notre époque alors allez leur dire qu'il faut pas polluer et qu'il faut restreindre c'est difficile à entendre donc il y</i>

a tout ça quoi donc en fait *il y a une implication à la fois politique à la fois scientifique à la fois de citoyenneté et puis des décisions à prendre donc voilà*

L'enseignante dévoile alors son ambition éducative en fin de séance : « s'il y a quelque chose que je voudrais vous transmettre aujourd'hui c'est un peu ça c'est effectivement sur cette science là qu'est en train de se faire c'est important de savoir d'où vient le discours ». Il s'agit d'un savoir puisqu'il y a « transmission », qui lui semble « important » [T 640]. Le savoir en question est l'intérêt accordé à la source des discours d'expertise. Elle donne aussi à voir ce qu'est un citoyen pour elle : « être citoyen », c'est « influencer le politique » et c'est « s'appuyer sur une expertise » [T 640]. Autrement dit, elle privilégie une citoyenneté active, fondée sur un discours rationnel, argumenté, dont la fonction est d'influencer les choix qu'a à prendre le politique. Cette volonté d'action pour le citoyen est contrebalancée par l'esprit critique du citoyen : les experts ne sont pas neutres et tout discours politique s'appuie sur une expertise. Son ambition éducative se dessine donc, à travers la situation qu'elle a créée : « je pense que vous le voyez un peu plus là maintenant de voir sur quel type de discours le politique s'appuie » [T 646].

Elle exprime également sa vision de la science en action : « il n'y a pas de vérité » et pourtant « il y a des décisions à prendre qui ne sont pas faciles », car « il y a une implication à la fois politique à la fois scientifique à la fois de citoyenneté » [T 648].

Autrement dit, l'intérêt de la séance pour l'enseignante réside moins dans le thème traité, le changement climatique, que dans ce que le traitement de ce type de questions dit du fonctionnement des technosciences et du lien sciences société.

L'enseignante adopte donc ici une posture qui est un mélange entre l'« impartialité neutre » et l'« impartialité engagée » (Kelly, 1986), dans le sens où elle met en scène ses valeurs, non pas par une prise de position sur l'objet controversé (le changement climatique), mais sur ce que doit être l'engagement d'un citoyen. Elle justifie dans l'entretien ante cette posture [Ante 62] :

62. E : *Alors moi il est hors de question de dire tel discours il est bon tel discours il est pas bon moi je reste vraiment dans l'idée d'éveiller à cette conscience c'est-à-dire de bien leur montrer qu'un discours politique s'appuie sur une expertise que l'expertise elle est pas forcément unique que en fait c'est à eux en tant que citoyen c'est à eux à chercher c'est à eux à voir à toujours aller voir les sources aller voir qui sont les experts sur qui sur quoi ils s'appuient est-ce qu'ils sont nombreux à travailler ensemble est-ce que dans d'autres pays voilà alors avec internet c'est formidable enfin maintenant on a on peut faire ça c'est euh je pense en tant qu'enseignante arriver à faire en sorte qu'ils ne gobent pas un discours unique*

Ainsi, l'enseignante B n'intervient pas dans le milieu par choix, mais ses valeurs éducatives sont mises en avant : elle souhaite « éveiller à cette conscience » du citoyen, à travers une vigilance à l'expertise : « c'est à eux (...) à aller toujours voir qui sont les experts sur quoi ils s'appuient ». Elle se met également en posture dans cet échange : « je pense qu'en tant qu'enseignante arriver à faire en sorte qu'ils ne gobent pas un discours unique », on peut donc dire qu'elle s'attache dans cette séance à développer l'esprit critique des élèves, vus comme futurs citoyens, plutôt qu'à leur enseigner une notion scientifique.

14.3.1.4 Conclusion

Les énoncés grammaticaux portent dans cette séance sur le fonctionnement des technosciences dans le rapport qu'elles entretiennent avec la citoyenneté.

En effet, l'enseignante introduit un modèle de conférence des citoyens pour créer le lien entre développement scientifique et participation des citoyens à la prise de décision politique. Les énoncés grammaticaux ont alors pour fonction à la fois de donner des éléments de représentations aux élèves sur la forme que peut prendre l'action citoyenne dans une situation

où la science intervient, et ils servent également à expliciter les liens qui existent entre production scientifique et prise de décision politique. C'est la notion d'expertise scientifique qui dans ce cas fait l'objet d'énoncés grammaticaux : l'expertise scientifique n'est pas neutre, ce qui signifie que les énoncés d'expertise ne constituent « la » vérité, sa production est reliée au monde économique (à travers les financements) et elle fonde la prise de décisions politique.

La citoyenneté est alors un objet d'éducation pour l'enseignante : à la fois dans ce qu'elle veut leur transmettre (l'esprit critique) et dans la manière dont elle veut assurer cette transmission [Ante 15] :

15. E :	Bah <i>le débat</i> déjà c'est pour que ce soit eux qui soient mis en action donc ça vient pas de moi on va dire même si j'ai préparé <i>c'est pour les responsabiliser aussi et les mettre dans le rôle du citoyen</i> enfin
---------	---

La forme scolaire du débat participe alors à son projet éducatif.

14.3.2 La préparation du jeu de rôle : des énoncés empiriques chez les élèves et grammaticaux chez l'enseignante

14.3.2.1 Un apport d'énoncés grammaticaux par l'enseignante sur la forme des documents d'expertise

Le 2^{ème} jeu du thème 2 consiste en un travail de groupes (les citoyens, les experts du GIEC, les experts critiques du GIEC), disposés dans 3 salles différentes, dont l'objectif est de préparer le jeu de rôle par construction des rôles.

L'enseignante introduit dans les 3 groupes des énoncés relatifs à la forme d'écriture des expertises scientifiques.

Ainsi, quand elle présente aux élèves-sceptiques les documents d'expertise qu'ils ont à leur disposition, l'enseignante insiste sur la forme du document :

67. E :	(...)donc voilà vous avez tout ça donc c'est basé <i>c'est un texte vraiment fondé vraiment comment dire sur la façon de faire qu'ont les scientifiques pour communiquer entre eux</i>
---------	--

Elle donne ainsi un statut aux documents qu'elle fournit aux élèves : « c'est un texte vraiment fondé (...) sur la façon de faire qu'ont les scientifiques pour communiquer entre eux ».

Elle fait ensuite une remarque similaire au groupe des élèves-experts du GIEC :

84. E :	Juste je voulais vous dire <i>les documents ils sont vraiment construits comme des documents scientifiques c'est-à-dire pour la communauté scientifique lorsqu'ils échangent entre eux ils si vous voulez ils mettent en forme comme ça vous avez toutes les références par exemple à tous les textes des scientifiques qui ont écrits qui sont cités dans l'article</i>
---------	--

Les documents sont « construits comme des documents scientifiques » et l'enseignante donne à voir le statut des documents scientifiques : ils sont « pour la communauté scientifique », ils servent de supports d'échange entre scientifiques (« lorsqu'ils échangent entre eux ») et ils sont codifiés (« ils mettent en forme comme ça »), notamment en faisant référence à d'autres travaux.

L'enseignante montre également aux élèves-citoyens un des documents fournis aux groupes d'experts :

118. E : (...) les documents sur lesquels ils travaillent c'est construit voyez comme un document de travail de l'expertise scientifique c'est-à-dire avec des références d'articles scientifiques des références de scientifiques

Elle indique alors au groupe des citoyens que la structure d'un document d'expertise est constituée de « références d'articles scientifiques » et de « références de scientifiques ».

L'enseignante accorde beaucoup d'importance à ces documents d'expertise, dans le sens où ils sont révélateurs de l'activité scientifique. C'est ce qu'elle justifie dans l'entretien ante [T 3 et T 7] :

3. E : Donc là ils vont analyser le document d'expertise et ils ont pour consignes de préparer un exposé de 5 minutes donc j'insiste sur c'est vraiment un vrai document d'expertise avec tu sais fait comme dans la communauté scientifique avec toutes les références et tout donc j'insiste pour qu'ils regardent bien tout ce qui est chiffres qu'ils analysent bien de qui ça vient, qu'ils donnent la source, etc.

(...)

7. E : (...) donc tu vois toujours cette idée d'expertise qu'on soit dans la précision

Les précisions qu'elle donne à tous les groupes sont des énoncés grammaticaux, car ils constituent des règles d'écriture propres à l'activité scientifique.

14.3.2.2 Des réactions contrastées des groupes d'experts face aux énoncés empiriques qui leur sont fournis

Les élèves, qui jouent le rôle des experts, sont confrontés à des énoncés empiriques issus des documents qui leur sont présentés.

Pour les élèves-experts du GIEC, l'enseignante régule le jeu en les aidant à s'approprier les documents. Nous renvoyons le lecteur à l'analyse systématique du jeu n°2 du thème 2 (voir annexes, pp. 335-338).

Pour les élèves-experts critiques du GIEC, l'enseignante intervient peu. Un épisode nous semble néanmoins significatif quand l'enseignante est sollicitée par un élève (Guillaume) qui doute des énoncés empiriques qui lui sont présentés [T 182-188] :

182. Guillaume : *Mais c'est bizarre quand même madame parce que*
183. E : Vous arrivez à vous imprégner dans le rôle dans les thèses
184. Guillaume : *Là par exemple ce qu'ils disent là c'est vrai ou c'est pas vrai tout ce qu'ils disent*
185. E : Ah bah c'est une bonne question ah bah alors ce sont des scientifiques qui ont publié dans des revues de scientifiques
186. Guillaume : Des thèses ouais
187. E : Donc si tu veux ça veut dire que les pairs ils ont été reconnus par la communauté scientifique
188. Guillaume : *Parce que c'est bizarre quand même ils disent parce qu'ils sont pas trop crédibles quand même je trouve ils disent que c'est pas dû au CO₂ et tout ça là que ça fond que c'est dû au soleil mais sauf que le soleil la chaleur et tout ça ça n'augmente pas à cause du CO₂*

L'élève doute (« c'est bizarre » [T 182 et 188], « ils sont pas trop crédibles » [T 188], « c'est vrai ou c'est pas vrai ce qu'ils disent [T 184]) car les documents qui lui sont proposés ne correspondent pas à ce qu'il sait du changement climatique. L'enseignante lui répond en donnant de l'autorité à la thèse climato-sceptique : « ce sont des scientifiques qui ont publié dans des revues scientifiques » [T 185], « ça veut dire que les pairs ils ont été reconnu par la communauté scientifique » [T 187].

L'élève justifie alors son doute [T 189-192] :

189. E :	Ah et alors eux te disent qu'il y a des cycles du soleil c'est ça qu'ils expliquent
190. Guillaume :	<i>Ils disent que la glace elle fond à cause du soleil et pas à cause du CO₂ là par exemple</i>
191. E :	Oui parce que l'activité solaire
192. Guillaume :	<i>La dynamique du soleil et non celle du CO₂ sauf que c'est à cause du CO₂ que l'effet de serre il augmente non</i>

On peut interpréter la réaction de l'élève : l'effet de serre induit un réchauffement climatique or l'effet de serre est causé par le CO₂ et non par le soleil. Autrement dit, il comprend l'influence du soleil, non pas comme cause directe du changement climatique mais comme cause de l'effet de serre, ce qui le surprend.

L'enseignante réagit à l'interprétation de l'élève en mettant en avant la difficulté de l'élève à se situer par rapport à une thèse qui n'est pas la thèse majoritaire :

195. E :	(...) donc ce que je comprends c'est que c'est un peu difficile pour vous de c'est-à-dire c'est pas la thèse ambiante <i>c'est pour ça que c'est intéressant vous voyez ils sont en train de bousculer un peu ce que l'on pense</i> depuis
196. Mickaël :	Ce que l'on pense ouais
197. E :	<i>Donc c'est votre rôle à vous aussi mais bon ce sont des scientifiques qui ont été donc publiés dans des revues scientifiques</i>

Elle ajoute de plus que « c'est pour ça que c'est intéressant » [T 195] : « ils sont en train de bousculer un peu ce que l'on pense » [T 195]. Autrement dit, un des intérêts de l'exercice qu'elle propose aux élèves est d'introduire des éléments qui « bousculent » leurs habitudes de pensée. Elle appuie alors son propos une nouvelle fois par un argument qui vise à donner de la légitimité à la position que les élèves doivent défendre : ces scientifiques sont sérieux, ils « ont été publiés dans des revues scientifiques » [T 197].

L'enseignante dévoile dans l'extrait qui suit son projet pédagogique [T 199-203] :

199. E :	Et tu sais quand tu me demandes est-ce que c'est vrai c'est tu es <i>on est là vraiment dans ce que je veux vous faire toucher dans cette séance c'est qu'en fait la vérité scientifique elle existe pas sur des questions comme ça toutes neuves</i> c'est-à-dire qu'il y a d'un côté les scientifiques qui font leurs études qui vont publier et de l'autre côté
200. Guillaume :	Comme les OGM quoi
201. E :	Exactement c'est ça et puis après et bien <i>après on verra je vous en dis pas plus</i> après qu'est-ce qu'on fait de tout ça voila donc vous vous avez en tout cas à défendre ce rôle enfin
202. Guillaume :	Ca c'était à part pour moi quoi
203. E :	Ouais ouais mais c'est bien c'est bien ce que tu me dis

L'enseignante déclare en effet que ce qu'elle veut « faire toucher », « c'est qu'en fait la vérité scientifique n'existe pas sur des questions comme ça toutes neuves » [T 199]. Autrement dit, son objectif est de confronter les élèves à l'incertitude inhérente de la science en action. L'élève introduit l'exemple des OGM pour conforter le point de vue développé par l'enseignante. Elle se retire alors du milieu : « je ne vous en dis pas plus » et revient sur l'objectif du groupe : « vous avez en tout cas à défendre ce rôle ».

Les réactions des groupes d'experts vis à vis des documents sont différentes : doutes formulés pour le groupe d'élèves – experts critiques du GIEC, difficultés à comprendre les documents pour le groupe d'élèves – experts du GIEC. L'enseignante régule alors le jeu de façon à permettre à chaque groupe de construire son rôle.

14.3.3 Le jeu de rôle : des situations de débat

14.3.3.1 L'exposé des élèves-experts du GIEC : la mobilisation d'énoncés empiriques

Le premier jeu du thème 3 consiste en l'exposé du groupe d'élèves jouant le rôle des experts du GIEC.

Nous rendons compte de l'argumentaire des élèves suivant les points abordés :

- le changement climatique est une réalité scientifique ;
- le changement climatique est causé par l'activité humaine ;
- les scientifiques porteurs de cette thèse sont issus du GIEC et publient dans une revue (Nature).

Le changement climatique est une réalité scientifique

Les élèves mobilisent plusieurs arguments pour prouver l'existence du changement climatique :

332. Didier :	Voilà d'environ selon le GIEC au 20ème siècle <i>la température moyenne globale à la surface de la Terre donc s'est accrue d'environ 0.6° ce qui est énorme</i>
(...)	
335. Clément :	<i>Grosse fonte des neiges et de la glace qui a fait augmenter le niveau moyen mondial de la mer et donc qui constitue en effet un fait incontestable du réchauffement climatique</i>
336. Didier :	Donc pour dire des chiffres on va dire que depuis 1978 l'étendue de la banquise a reculé de 2.7% alors ça c'est pour 1978 par contre pour ce qui est hum hum tant pis par contre les glaciers de montagne et la couverture neigeuse ont diminué en moyenne dans les deux hémisphères houla ça veut rien dire ça la mer a augmenté depuis 1961 à une vitesse d'environ 1.8 mm par an par contre à partir de 1993 pareil du à la fonte des glaces et donc de surcroît à l'augmentation des températures en 93 elle a augmenté de 3.1 mm par an

Les principaux arguments des élèves sont donc l'augmentation de la température moyenne du globe [T 332], la fonte des neiges et des glaciers qui cause une augmentation du niveau de la mer [T 335-336].

Ces énoncés sont de type empirique et l'argumentation est renforcée par des jugements : l'augmentation de température est « énorme » [T 332] et la fonte des neiges et des glaciers ainsi que la montée du niveau de la mer sont « un fait incontestable du réchauffement climatique » [T 335].

Le changement climatique est causé par l'activité humaine

Les élèves défendent la thèse que le changement climatique est causé par l'activité humaine :

331. Clément :	Ces derniers siècles donc nos principales théories on va dire sur le réchauffement climatique donc c'est qu'il s'est produit depuis l'ère industrielle
(...)	
336. Didier :	(...) donc voilà la troisième cause qui est l'augmentation du réchauffement climatique il est surtout du donc à l'activité humaine qui est par exemple l'utilisation des énergies fossiles pour ce qui est de l'automobile
337. Clément :	Des transports en général
338. Didier :	Voilà des rejets de méthane par exemple dans l'agriculture qui représente une part non négligeable et de l'industrie par exemple la métallurgie qui rejette du CO ₂ en faisant comment dire fondre le métal voilà

Les élèves produisent des énoncés empiriques pour expliquer le changement du climat : celui-ci est dû à l'activité humaine (« utilisation des énergies fossiles », pour « l'automobile » [T 336], « les transports » [T 337] ; « rejets de méthane dans l'agriculture » [T 338] ou de CO₂ dans « la métallurgie » [T 338]). Ils justifient de plus la dimension anthropique du

réchauffement climatique par le fait qu'il se produit « depuis l'ère industrielle » [T 331]. Enfin, les élèves raccrochent ces énoncés empiriques en les liant à « leurs principales théories » [T 331], sans mentionner la grammaire implicite qui fonde cette position (le lien émission de GES et changement climatique via l'effet de serre).

Les scientifiques porteurs de cette thèse sont issus du GIEC et publient dans une revue (Nature)

Les élèves fondent également leurs propos en présentant le GIEC [T 333], puis reviennent sur leur autorité scientifique dans ce domaine :

339. Clément :	Voilà donc donc ces scientifiques comme nous avons dit font partie de la communauté internationale du GIEC mais également aussi <i>ils élaborent la revue Nature qui est donc une revue de scientifiques très réputée</i>
340. Didier :	En fait le GIEC c'est une <i>c'est une agence intergouvernementale ce sont les scientifiques choisis par les gouvernements des pays qui veulent se mettre qui veulent fournir des scientifiques et donc en quelque sorte ils ne sont pas choisis pour rien</i>
341. Clément :	<i>Ils sont d'assez bonne renommée</i> parce que nous on les connaît pas trop mais
342. Didier :	Voilà <i>ils sont sérieux</i> quoi
343. Clément :	<i>Très sérieux</i>

Ils fondent donc leur expertise sur la nature du GIEC (« une agence intergouvernementale » [T 340], participant d'une « communauté internationale » [T 339]) et sur l'élaboration de la revue *Nature*. Ils légitiment de plus leur propos par des jugements sur la revue *Nature* (revue « très réputée » [T 339]) et sur la qualité des experts du GIEC (« ils sont d'assez bonne renommée » [T 341], « ils sont sérieux » [T 342-343]).

Ce sont ici des énoncés grammaticaux qui sont explicités, car ils donnent à voir une règle du jeu de langage joué : les arguments sont « sérieux », car ils sont construits par des spécialistes « sérieux » et en ce sens, la validité de leur exposé tient à la validation par une communauté scientifique des énoncés empiriques qu'ils exposent.

14.3.3.2 L'exposé des élèves-experts critiques du GIEC : la mobilisation d'énoncés grammaticaux

Le deuxième jeu du thème 3 consiste en l'exposé du groupe d'élèves jouant le rôle des experts critiques du GIEC.

Nous rendons compte de l'argumentaire des élèves suivant les points abordés :

- la mise en cause des méthodes de mesure qui fondent la position du GIEC ;
- la mise en cause de la responsabilité de l'homme en proposant des théories alternatives ;

La mise en cause des méthodes de mesure qui fondent la position du GIEC

Les élèves fondent leur argumentation à partir de la courbe « en crosse de hockey », qui décrit l'évolution de la température au cours du temps. Ils la dessinent au tableau puis discutent son domaine de validité :

349. Guillaume :	Pardon ah oui donc du coup <i>ces données fournies par le GIEC sont peut-être vraies depuis l'ère industrielle mais elles ne portent que depuis cette ère là</i> avant toutes les données amenées cette partie de la courbe ont été faites à partir de relevés sur des carottes de glace ou sur des morceaux d'arbres
350. Mickaël :	Sur les troncs les cercles
351. Guillaume :	Sur les cercles d'arbres donc du coup <i>elles sont pas très très précises</i> vu que les arbres peuvent changer suivant les précipitations et suivant les régions

Les élèves de ce groupe reprochent au GIEC les méthodes de mesure utilisées pour construire la courbe « en crosse de hockey ». En effet, pour eux les données des températures sont

« peut-être vraies depuis l'ère industrielle » [T 349], mais les mesures du GIEC (relevés sur carottes de glace et dendrochronologie) « ne sont pas très précises » [T 351]. Ces énoncés sont grammaticaux dans le sens où ils remettent en cause la grammaire implicite qui sous-tend les énoncés empiriques du GIEC (le lien émission de GES et changement climatique via l'effet de serre).

La présentation d'énoncés grammaticaux alternatifs

Les élèves remettent également en question la place centrale du CO₂ dans l'argumentation du GIEC :

351. Guillaume :	(...) la glace <i>elle ne fond pas à cause du CO₂ mais à cause des rayonnements du soleil</i> donc par exemple les glaces du Kilimandjaro ne commencent pas à fondre faute du gaz à effet de serre mais de l'augmentation de rayonnement du soleil et donc du coup <i>il faudrait revoir les modèles climatiques du GIEC</i> car même si les températures augmentent les précipitations neigeuses et dans les précipitations neigeuses n'ont quasiment pas baissé même si les températures augmentent
352. Mickaël :	<i>Donc nous ce qu'on pense c'est que l'impact ce que fait ce que provoque le CO₂ a été sur-estimé par le GIEC et ils oublient souvent d'autres éléments importants comme les nuages ou encore les aérosols les océans ou le rayonnement solaire et en conclusion enfin les conclusions avancées par cet organisme enfin pour nous ne justifient pas les mesures et politiques adoptées dans le protocole de Kyoto</i>

Ils développent alors une grammaire différente de celle du groupe précédent pour fonder leur position : ce n'est pas le CO₂ le principal acteur du changement climatique (« ce que provoque le CO₂ a été sur-estimé par le GIEC » [T 352]) mais le rayonnement solaire (« la glace elle ne fond pas à cause du CO₂ mais à cause des rayonnements du soleil » [T 351]) ou bien la prise en compte d'autres facteurs (« les aérosols, les océans » [T 352]). Les élèves critiquent le GIEC à la fois dans la théorie centrale défendue par le GIEC mais aussi sur les actions que cette position implique : paramétrages des modèles climatiques (« il faudrait revoir les modèles climatiques du GIEC » [T 351]), choix politiques (« les conclusions avancées par cet organisme enfin pour nous ne justifient pas les mesures et politiques adoptées dans le protocole de Kyoto » [T 352]).

L'enseignante n'intervient dans ces deux premiers jeux du thème 3 que pour assurer les transitions dans les passages des élèves au tableau. Les élèves-experts du GIEC présentent la thèse développée par le GIEC, alors que les élèves-experts critiques du GIEC présentent une contre-thèse, qui en attaquant les méthodes et proposent une théorie différente. Autrement dit, les énoncés empiriques utilisés par les élèves-experts du GIEC sont fondés sur une grammaire implicite : le réchauffement est dû à l'effet de serre, via une augmentation des GES ; les élèves-experts critiques du GIEC développent les mêmes énoncés empiriques mais dans une grammaire différente : c'est l'action du soleil qui permet de représenter les changements observés. De plus, alors que les énoncés grammaticaux du premier groupe consistent à renforcer leur position par un argument d'autorité, les énoncés grammaticaux des élèves-experts critiques du GIEC consistent à remettre en cause cette autorité en argumentant sur les méthodes et théories du GIEC.

14.3.3.3 Un débat initié par les citoyens à l'issue des exposés des experts

Le troisième jeu consiste ensuite en un débat du thème 3 : les citoyens posent des questions aux experts.

Trois points sont alors abordés :

- la responsabilité de l'homme dans le changement climatique ;
- les conséquences du changement climatique ;
- les solutions pour réduire le changement climatique.

La première question des citoyens porte sur la responsabilité de l'homme :

357. Paul :	Le réchauffement climatique est-il dû à l'action de l'homme ?
-------------	---

C'est tout d'abord un élève du groupe des experts critiques du GIEC qui exprime le point sur lequel les deux thèses s'opposent :

358. Guillaume :	<i>Pour le GIEC oui alors que pour certains scientifiques comme Von Storch lui il est contre les thèses du GIEC et notamment celles de Mann le scientifique qui a écrit que le réchauffement climatique causé par l'homme et notamment par le dégagement du CO₂ serait dû par l'homme alors que Von Storch lui il dit que les premiers âges des relevés météorologiques sont trop jeunes pour pouvoir dire que c'est juste à cause de l'homme que les températures changent alors que bien avant les températures elles changeaient déjà</i>
------------------	---

Pour ce groupe, les méthodes de mesure actuelles ne permettent pas d'être sûres des températures du passé et donc de pouvoir statuer sur l'origine anthropique du changement climatique.

Cet argument revient à plusieurs reprises :

360. Guillaume :	Bah ça on sait pas vu qu'on a pas les relevés de température anciens
(...)	
363. Mickaël :	Ce qu'on souligne nous c'est qu'on fixe trop l'impact de l'homme
(...)	
364. Guillaume :	Aujourd'hui grâce aux technologies on peut voir que les glaces fondent mais avant
(...)	
423. Mickaël :	C'est justement ce qu'on vous reproche vous avez pas des données assez fiables

C'est donc l'incertitude des données scientifiques qui fondent leur argumentation. Ils développent alors à nouveau la théorie alternative du rôle du soleil comme acteur majeur du changement climatique :

366. Guillaume :	<i>Oui mais c'est surtout à cause du soleil que les glaces fondent et pas notamment à cause du CO₂ mais grâce aux rayonnements du soleil le CO₂ il ne joue pas sur la fonte des glaces</i>
367. Cédric :	Mais comment ça se fait le soleil ça a toujours été le même
368. Guillaume :	<i>Bah le soleil il existe des explosions solaires qui augmentent les rayonnements sur la planète et notamment le réchauffement climatique et ça ça existe depuis toujours depuis les premiers volcans</i>
369. Mickaël :	Et ça c'est comme on vous dit qui vous dit que le soleil a toujours été le même mais comme on n'a pas des relevés assez anciens on peut pas on peut pas se baser

Ainsi, ils fondent leur argumentation sur deux points : l'activité du soleil est irrégulière (« il existe des explosions solaires qui augmentent les rayonnements sur la planète » [T 368]) et à l'objection faite par un citoyen sur la permanence de cette activité [T 367], ils répondent à nouveau que les méthodes de mesure ne sont pas assez fiables pour avoir une certitude sur des relevés anciens [T 369].

Un élève du groupe GIEC admet alors l'argument mais il recentre la réflexion sur l'aspect naturel de l'effet de serre :

371. Didier :	<i>Voilà alors c'est vrai pour un certain sens mais prenons l'exemple de Vénus par exemple qui a une atmosphère très dense notamment due au CO₂ et sa surface de Vénus fait à peu près 400° donc c'est un phénomène naturel que le CO₂ augmente cependant l'activité humaine arrive enfin selon les relevés du GIEC à accentuer ce phénomène quand même dû aux rejets des automobiles et tout on arrive à mesurer assez précisément depuis certaines années même assez récentes c'est-à-dire il y a 10 ans par exemple on faisait des relevés et on en convient toujours qu'il y a une augmentation</i>
---------------	---

Cet élève prend l'exemple de la planète Vénus comme élément de son argumentation : son atmosphère est composée de CO₂ et la température est très élevée. Ce qui change avec la Terre, c'est l'augmentation du CO₂ à cause de l'activité humaine, et l'ampleur de l'augmentation est mise en avant :

424. Didier :	Voilà mais sur une échelle de 10 ans faire une augmentation telle c'est trop
425. Clément :	C'est trop complexe
426. Didier :	<i>C'est très élevé</i> mais après
427. Mickaël :	Oui mais quand vous parlez d'augmentation vous prenez comme base avant l'industrialisation avant l'ère industrielle
428. Didier :	Oui c'est vrai
429. Mickaël :	Peut-on se fier à ce moment là
430. Didier :	<i>Cependant on ne connaît pas de descente</i>
431. Clément :	C'est vrai aussi (1 :06 :04)

Finalement, ce qui semble faire consensus, c'est la difficulté d'être certain de la référence construite par le GIEC pour mesurer l'augmentation relative, mais c'est aussi le fait que l'augmentation est continue depuis l'ère industrielle (« cependant on ne connaît pas de descente » [T 431]).

Nous renvoyons le lecteur à l'analyse systématique des jeux d'apprentissage (voir annexes, pp. 342-344), pour une analyse des autres points abordés lors du débat.

Nous rendons compte ici uniquement de quelques propriétés des échanges :

- à propos des conséquences : un élève propose de parler de « changement climatique » plutôt que de « réchauffement climatique » pour en décrire les conséquences [T 377] ;
- les solutions pour réduire le changement climatique sont abordées de manière plurielle : les solutions sont techniques [T 391-392], politiques [T 407-410] et culturelles (le rapport à l'alimentation, notamment la consommation de viande, [T 434-442]).

Le débat est ici initié par les élèves-citoyens et l'enseignante n'intervient pas pour réguler le jeu, car les élèves s'investissent dans leur rôle. Nous remarquons que les arguments mobilisés par les élèves dépassent le cadre des documents qui leur ont été fournis (la planète Vénus ou bien la consommation de viande par exemple) et, outre les énoncés grammaticaux utilisés par les élèves-experts critiques du GIEC pour critiquer la position du GIEC, ce sont surtout des énoncés empiriques qui sont surtout mobilisés pour appuyer chacune des positions prises (les explosions solaires, l'atmosphère de Vénus, la consommation de viande par exemple).

14.3.3.4 Un débat initié par les citoyens lors de leur exposé

Le deuxième jeu du thème 4 consiste en l'exposé des propositions construites par les élèves-citoyens. Les 6 élèves vont alors au tableau et s'adressent au reste des élèves.

Trois propositions sont faites :

- la promotion des énergies renouvelables et la place du nucléaire ;
- le changement des politiques publiques ;
- la sensibilisation des pays émergents.

La première proposition des citoyens porte sur la promotion des énergies renouvelables :

490. Cédric :	Donc on a relevé plusieurs thèses que vous avez décidé de mettre en avant par rapport aux théories donc par rapport à votre groupe là <i>on a pensé que on souhaitait mettre en avant les énergies renouvelables pour limiter la pollution et le dégagement de CO₂</i>
---------------	---

Les citoyens sollicitent alors les experts du groupe GIEC pour préciser les mesures à prendre :

493. Cédric :	Vous pouvez nous expliquer un peu en quoi ça consiste et tout ça
Un élève du groupe GIEC explicite alors cette action :	
496. Clément :	C'est comme nous l'avons dit tout à l'heure <i>promouvoir les énergies renouvelables comme l'éolien l'hydrique et le solaire afin de que vraiment ça devienne la part majeure en production d'électricité pour remplacer d'autres modes de production dans le nucléaire et après ça va servir au quotidien pour la propulsion pour le chauffage dans la maison l'électroménager</i>

L'intervention de Clément consiste à donner des exemples d'énergies renouvelables (« l'éolien », « l'hydrique », « le solaire »), qui viennent en remplacement d'autres modes de production électrique (« le nucléaire »), afin que « ça [serve] au quotidien ».

Cette intervention suscite des réactions et un débat s'engage alors sur le nucléaire.

D'un côté, certains élèves remarquent que les centrales nucléaires ne dégagent pas du CO₂ :

498. Cédric :	On se demandait pourquoi remplacer le nucléaire parce que <i>le nucléaire ne pollue pas l'atmosphère il ne dégage que de la vapeur d'eau</i>
499. Clément :	Il ne pollue pas l'atmosphère c'est vrai
500. Cédric :	<i>Il ne dégage pas de CO₂ donc pourquoi remplacer le nucléaire</i>
(...)	
510. Mickaël :	<i>Dans le réchauffement climatique l'énergie nucléaire n'intervient pas</i>

De l'autre, la question des déchets [502-506] et de la dangerosité des centrales nucléaires est mise en avant [T 533] :

502. Didier :	<i>Le nucléaire produit des déchets ultimes on ne sait pas comment</i>
503. ?? :	Radioactifs
504 Clément :	Les recycler
(...)	
506. Didier :	Dans ce cas on va continuer dans le nucléaire <i>on va accumuler des déchets ultimes radioactifs et les mettre dans le sol qui va lui aussi devenir radioactif</i>
(...)	
533. Anna :	Oui mais nous en tant que citoyen ce qu'on peut voir c'est quand même que <i>les centrales nucléaires c'est dangereux</i> avec les dernières informations qu'on a pu recueillir on a jamais vu un panneau solaire exploser ou

Le débat se poursuit sur la nécessité des centrales nucléaires pour maintenir la production électrique :

514. Mickaël :	De toutes façons on ne pourra jamais arrêter l'énergie nucléaire parce que c'est pas avec l'éolien avec les XXXXXXXXXX qu'il y a
515. Didier :	Non non on ne dit pas d'arrêter comme ça mais
516. Mickaël :	<i>C'est pas avec les énergies renouvelables qu'on arrivera à produire toute l'électricité</i>
517. Didier :	Progressivement on peut peut-être diminuer

Un consensus se dégage alors sur l'idée de réduire le nombre de centrales nucléaires :

519. Didier :	Bah alors diminuer juste le nombre de centrales nucléaires
520. Cédric :	Voilà diminuer le nombre mais on pourra jamais arrêter le nucléaire
521. Didier :	Arrêter non

L'échange se poursuit alors sur les énergies renouvelables et leurs limites en termes de durabilité :

524. Mickaël :	De toute façon messieurs les scientifiques <i>on peut on peut pas avancer des thèses comme ça maintenant parce qu'on n'a pas assez de recul sur les énergies renouvelables</i> encore que ce soit les panneaux photovoltaïques
525. Didier :	<i>Ils sont pas durables</i>
526. Mickaël :	S'ils ne sont pas durables on ne sait pas comment les détruire dans le futur
527. ?? :	Les recycler
528. Cédric :	<i>Ca aussi une énergie renouvelable qui ne dégage pas de CO₂ va produire des déchets dont on ne sait pas quoi faire</i>

Comme pour le nucléaire, les élèves mettent en avant l'absence de techniques de recyclage des matériaux utilisés dans les énergies renouvelables.

Finalement, un consensus est obtenu sur le fait qu'il n'y a pas de bonnes solutions car toute solution a des avantages et inconvénients :

529. Didier :	<i>Toute solution a des avantages</i> par exemple l'énergie éolienne pollue visuellement beaucoup de personnes se plaignent d'avoir une éolienne dans sa vue et pourtant
(...)	
540. Clément :	<i>Vous avez le même problème quand vous faites construire une centrale nucléaire avec l'eau qui est rejetée est tellement chaude qu'au niveau biodiversité dans la rivière parallèle est</i>
(...)	
554. Didier :	Donc quelque part j'avais proposé les fonds marins mais en fait <i>toutes nos solutions ont quelque part un impact sur la biodiversité</i> voilà par exemple voilà il y a les éoliennes peuvent couper les migrations de certaines populations des oiseaux par exemple qui utilisent les vents pour voler voilà

Le consensus est alors trouvé dans une solution de « mix énergétique » :

550. Didier :	On peut essayer de généraliser de trouver des solutions un peu pour tout <i>pas de privilégier une certaine chose et oublier les autres</i>
551. Clément :	Voilà c'est ça il faut pas privilégier la cause du réchauffement climatique <i>faut toutes les étudier et essayer de les réduire</i>
552. Didier :	<i>Trouver un compromis entre tout en fait</i>
553. Cédric :	Oui je suis d'accord là je suis d'accord

Une deuxième question est posée aux experts concerne la durée des ressources en énergies fossiles :

555. Joffrey :	Donc pour en revenir on parlait tout à l'heure des énergies fossiles vous pensez qu'on en a pour combien de réserves encore combien d'années de réserves ?
----------------	--

Un élève expert du GIEC répond 30-40 ans, ce qui induit un échange sur l'urgence qu'il y a à trouver des solutions :

559. Joffrey :	Il faudra envisager des solutions assez rapidement quand même
560. Clément :	Il y a celles qu'on a envisagées aujourd'hui mais elles sont pas efficaces encore enfin
561. Mickaël :	C'est pas qu'elles sont pas assez efficaces c'est qu'elles sont pas suffisantes
562. Jérémy :	Les solutions d'aujourd'hui elles font le bien d'un côté mais de l'autre
563. Cédric :	Voilà par exemple si on prend l'exemple de la voiture électrique
564. ??? :	Elle ne permet pas de se déplacer sur une longue distance
565. Cédric :	Ca évite d'utiliser des hydrocarbures il faut bien des centrales nucléaires pour les recharger
566. Didier :	Voilà par exemple c'est pas vraiment une solution d'avenir enfin ça va être assez dur de trouver la quantité d'énergie à fournir pour toutes les voitures électriques si on globalise à tous les automobilistes par exemple qu'il y a en France on pourra jamais subvenir électriquement aux besoins des voitures

Cet échange montre bien la conscience qu'ont les élèves de la complexité de l'équation à résoudre : « il faut envisager des solutions assez rapidement » [T 559], les solutions actuelles

« ne sont pas suffisantes » [T 561] pour maintenir nos modes de vie (« on pourra jamais subvenir électriquement aux besoins des voitures » [T 566]) et ne sont pas parfaites (« elles font le bien d'un côté mais de l'autre » [T 562]).

Nous rendons compte ici rapidement des autres points abordés lors du débat :

- les élèves-citoyens proposent de changer de politique : une politique « moins basée sur le profit » [T 569] et qui « pense plus à l'environnement » [T 570] ([T 569-572], annexes, p. 374) ;
- les élèves-citoyens proposent également de sensibiliser les pays émergents à la sauvegarde de l'environnement [T575-582] (annexes, pp. 374-375) : trois idées sont alors développées : sensibiliser, c'est « leur faire prendre conscience » [T 580] que leur développement n'est pas durable, c'est aux occidentaux (« nous ») de « donner l'exemple » [T 581] et enfin, « le problème c'est les disparités sociales » [T 582], c'est-à-dire que le développement prenant en compte l'environnement est plus coûteux que le développement prenant en compte uniquement comme objectif la hausse du niveau de vie des habitants des pays émergents.

14.3.3.5 Conclusion

L'enseignante n'intervient ni dans les présentations des élèves-experts ni dans les débats : ce sont donc les élèves qui ont la maîtrise complète de l'évolution du milieu.

L'enseignante revendique dans l'entretien ante la volonté qu'elle a de ne pas intervenir dans le milieu [Ante 90-92] :

90. E :	<i>Alors je voudrai ne pas m'impliquer avant la fin c'est-à-dire vraiment essayer de ne pas m'impliquer</i> sauf passer pendant la préparation voir si jamais ils ont pas compris leur dire qu'ils peuvent faire un schéma au tableau après pendant le débat <i>j'aimeraï ne pas intervenir j'espère ne pas intervenir</i>
91. NH :	Alors pourquoi cette volonté de ne pas intervenir
92. E :	Parce que justement <i>je veux voir ce qui peut émerger d'eux donc si j'interviens je fausse tout je les oriente donc je veux voir jusqu'où ils peuvent aller même dans le débat</i> si ça peut devenir violent on peut peut-être je sais pas alors si vraiment je vois que ça peut devenir stérile là j'interviens (...)

Si l'enseignante n'intervient pas, c'est qu'elle « [veut] voir ce qui peut émerger d'eux », « jusqu'où ils peuvent aller même dans le débat » et qu'elle considère que son intervention « [fausserait] tout » [T 92]. Autrement dit, son objectif n'est pas ici l'apprentissage d'un savoir particulier pour l'élève, il est plutôt lié à une attitude particulière de l'élève, qui relèverait d'une disposition à s'engager dans l'activité proposée. L'engagement de l'enseignante dans le milieu est alors coordonnée aux limites de l'engagement des élèves dans le jeu proposé par l'enseignante. Elle explicite également dans l'entretien ante l'ambition qu'elle fixe à l'engagement des élèves [Ante 9 et 105] :

9. E :	<i>(...) je vais voir s'ils ont été capables de soulever des questions un peu de société du rôle de la science dans la société</i>
105. E :	<i>(...) en fait il faut arriver je pense à les mettre en situation de questionnements par rapport à la science à montrer qu'à un moment comme là bé oui à un moment mais oui il existe d'autres thèses mais alors qu'est-ce qu'on en fait enfin</i>

On peut donc interpréter le fait que l'enseignante n'intervient pas : les élèves soulèvent des questions « de société » en intégrant dans leurs échanges des éléments scientifiques, politiques et culturels, qui rendent compte de la complexité de la problématique. De plus, les propositions faites par les élèves-citoyens soulèvent des questions, comme par exemple la place du nucléaire ou « le problème » des disparités sociales entre pays : en ce sens, les élèves

« [se mettent] en situation de questionnements par rapport à la science » [T 105] et entretiennent le milieu de façon à prendre en compte cette complexité.

Les énoncés développés sont de type empirique (comme par exemple « c'est pas avec les énergies renouvelables qu'on arrivera à produire toute l'électricité » ou bien « le nucléaire ne pollue pas l'atmosphère il ne dégage que de la vapeur d'eau ») et mobilisent peu des savoirs scientifiques. Ceci est cohérent avec les recherches sur les controverses socioscientifiques qui notent que les savoirs scientifiques interviennent peu dans les argumentations des élèves (voir 3.1.1.2.2.3 : la place des savoirs scientifiques, p. 37-38).

14.4. Conclusion : un tableau de la pratique de l'enseignante B dans la séance B₂

14.4.1 Qu'est-ce qui est objet d'enseignement dans le jeu didactique ?

Nous avons vu que dans cette séance les énoncés grammaticaux sont minoritaires dans la séance, mais sont principalement le fait de l'enseignante.

Ils portent sur le modèle de la conférence de citoyens, vue comme espace de dialogue entre différents experts et citoyens sur une question politique mettant en jeu les technosciences. Les énoncés grammaticaux sont alors des éléments langagiers qui représentent à la fois la structure de cet espace de dialogue et la mise en scène qui va avoir lieu dans la séance. Des énoncés grammaticaux portent également sur l'expertise, à travers la forme d'écriture des documents d'expertise, mais aussi sur une explicitation des liens qui existent entre l'expertise et l'action politique.

Les énoncés empiriques portent alors sur les arguments scientifiques qui permettent de prouver l'origine anthropique du changement climatique, ainsi que sur les aspects techniques, politiques et culturels liés à la recherche de moyens d'action pour en réduire les impacts. Ils sont énoncés par les élèves et l'enseignante n'intervient pas dans leur formulation.

14.4.2 Comment le jeu didactique est-il joué ?

Nous reprenons ici la conclusion de la partie 2 de cette analyse (pp. 329-330)

Une topogénèse majoritairement sous la responsabilité des élèves

L'action conjointe prend successivement des formes différentes dans la séance B₂.

La topogénèse passe tout d'abord dans cette séance de la responsabilité de l'enseignante (thème 1 – classe entière) à une responsabilité simultanée (thème 2 – travail de groupe), dans laquelle l'exploitation de documents tient une place centrale puisque ceux-ci fondent la référence autoritative des formes de communication. Le thème 3 est toujours sous la responsabilité des élèves, mais l'enseignante n'intervient pas dans le milieu (jeu n°1 du thème 3 : exposé des groupes experts), car elle laisse les élèves-experts présenter leur argumentaire puis débattre entre eux. Finalement, la topogénèse reste sous la responsabilité des élèves, mais les formes de communication deviennent dialogiques (thèmes 3-4 : travail de groupes -

débat). En fin de séance, la topogénèse revient sous la responsabilité de l'enseignante (thème 5 – classe entière), quand elle institutionnalise les savoirs mobilisés dans la séance.

Nous observons donc dans cette séance qu'une organisation de la classe autre qu'« en classe entière » favorise une topogénèse du côté des élèves. Nous remarquons de plus que les épisodes de topogénèse mixte relèvent d'une construction conjointe des savoirs à institutionnaliser (thèmes 1 et 5) ou bien d'une dévolution de la tâche en cours (thème 2). La topogénèse est alors sous la responsabilité de l'enseignante au début de la séance pour définir et dévoluer le jeu de rôle qui va être joué, puis en fin de séance pour institutionnaliser les savoirs.

Une mésogénèse majoritairement interactive et entre élèves, dans laquelle l'enseignante n'intervient que pour s'assurer que les élèves jouent le jeu de rôle

Les formes de communication sont interactives, très majoritairement entre élèves. Ces derniers sont également très majoritairement à l'initiative des interactions, entre eux mais aussi avec l'enseignante. L'enseignante introduit des objets dans le milieu mais réagit très peu aux objets introduits par les élèves : son rôle consiste donc à introduire des éléments de façon à faire vivre le milieu, sans l'influencer davantage, puisqu'elle laisse aux élèves la maîtrise de leurs propres objets. Les gestes de régulation portent essentiellement sur la nature et le contenu des documents supports des jeux du thème 2 (construire son argumentation). On relève également que peu de savoirs sont institutionnalisés (thème 1 et thème 5) et que les épisodes de dévolution concernent le jeu en cours ou bien les jeux à venir. Il n'y a pas de rappel ou d'annonces d'éléments étrangers à la séance.

Une chronogénèse intégrative d'énoncés majoritairement empiriques et peu de savoirs institutionnalisés

La séance est une succession de jeux d'apprentissage à chronogénèse « intégrative », car les jeux dépendent les uns des autres et leur succession intègre les jeux précédents dans le nouveau jeu joué. Nous observons que les énoncés empiriques sont majoritaires dans cette séance. Toutefois, les énoncés grammaticaux sont portés par l'enseignante et les énoncés empiriques sont portés par les élèves dans le thème 2, puis les deux types d'énoncés sont portés par les élèves lors du thème 3.

Nous remarquons également que les épisodes d'institutionnalisation (la topogénèse est alors sous la responsabilité de l'enseignante) portent sur des énoncés grammaticaux (thèmes 1 et 5).

14.4.3 Quelle épistémologie pratique est mise en oeuvre ?

Une théorie implicite socioconstructiviste de l'enseignement / apprentissage

L'enseignante B organise la situation d'enseignement / apprentissage en se fondant sur les points suivants :

- les élèves sont acteurs : la topogénèse est majoritairement sous leur responsabilité ;
- ils construisent leurs savoirs en échangeant : les interactions sont majoritairement de type complexe entre élèves, l'organisation sociale de la classe est le plus souvent en groupe. Les élèves-experts sont mis en situation d'enseignant puisque ce sont eux qui construisent et présentent un argumentaire au reste de la classe.

- L'enseignante n'intervient pas dans le milieu quand les élèves présentent leur travail ou débattent entre eux. Son action est cohérente avec ce qu'elle exprime de l'apprentissage dans l'entretien ante : « pour apprendre, il faut qu'ils le vivent » [Ante 15]. Elle crée donc une situation dans laquelle les élèves peuvent « vivre ».

Ces différents éléments nous permettent de qualifier de socioconstructiviste la théorie implicite de l'enseignement / apprentissage qu'elle déploie dans l'action lors de la séance B₂.

Nous confortons notre interprétation par la justification qu'elle donne de son choix d'organiser un jeu de rôle dans l'entretien ante [T 15] :

14. NH :	En quoi finalement parce qu'on aurait pu imaginer une autre forme scolaire on va dire de ça pourquoi le débat plutôt que je sais pas tu fais un cours sur la science comment ça marche les experts etc.
15. E :	Bah le débat déjà <i>c'est pour que ce soit eux qui soient mis en action donc ça vient pas de moi on va dire même si j'ai préparé c'est pour les responsabiliser aussi et les mettre dans le rôle du citoyen</i> enfin le jeu de rôle je pense permet alors il a des défauts mais je pense qu'il permet notamment pour l'expertise si moi je joue le rôle de l'expert par exemple on imagine un cours je leur présente la thèse je pense que <i>ça aura pas le même impact</i> je pense que eux déjà et puis <i>c'est un moyen pour moi de voir s'ils sont capables de s'approprier un discours d'expertise aussi mais eux rentrer dans ce jeu là d'expertise le présenter voilà à d'autres à leurs camarades et moi je suis j'interviens pas</i> je pense j'espère parce qu'on verra <i>je pense que ça va éveiller beaucoup plus de questions que si c'est moi qui fais un cours ou qui explique voilà il existe je pense d'un point de vue épistémologique pour apprendre il faut qu'ils le vivent</i> enfin le fait de le vivre le fait de par eux-mêmes tout d'un coup peut-être ils vont se poser la question de se dire ah bah oui tiens eux ils sont payés par qui ou <i>voilà ça va émerger et puis entre eux entre eux il va se passer des</i>

En effet, « c'est pour que ce soit eux qui soient mis en action » (que l'on peut relier à la topogénèse « élève »), le jeu de rôle « n'aura pas le même impact » (que l'on peut relier à la forme d'organisation sociale « en groupe »), « voilà ça va émerger et puis entre eux entre eux il va se passer » (que l'on peut relier à la mésogénèse essentiellement interactive et entre élèves), « rentrer dans ce jeu là d'expertise et le présenter à d'autres à leurs camarades (les élèves se trouvent en situation « d'enseigner » à leurs pairs comme dans les jeux n°1 et 2 du thème 3 quand les experts restituent leur argumentaire à la classe). Ainsi, l'enseignante exprime des conceptions sur l'enseignement/apprentissage : « le débat c'est pour que ce soient eux qui soient mis en action », « pour apprendre, il faut qu'ils le vivent ».

Une théorie explicite des savoirs scientifiques

L'enseignante explicite dans la séance le statut des savoirs scientifiques. Tout d'abord, les savoirs scientifiques sont dans cette séance liés à l'action politique : ils revêtent la forme d'une expertise scientifique. Cette expertise est présentée comme étant celle d'une communauté, les scientifiques, dont une partie de l'activité est explicitée. En effet, les scientifiques échangent entre eux, sous la forme d'articles dans des revues scientifiques ou bien sous la forme de compte-rendus d'expertise. Ces échanges sont codifiés à travers un système d'écriture constitué de références à des travaux scientifiques publiés. De plus, une communauté particulière de scientifiques est mise en avant : le GIEC, en tant que groupe de scientifiques missionnés par des gouvernements pour étudier le climat. La communauté des scientifiques est également abordée à travers la production scientifique : le travail des scientifiques est en lien avec le monde économique puisqu'il est financé par différents organismes, publics et privés, qui peuvent contraindre la nature des recherches effectuées.

D'autre part, le statut des énoncés produits est développé : les expertises n'ont pas pour objet de donner « la vérité » sur des phénomènes, car les conditions de leur élaboration ont des conséquences sur le contenu de l'expertise scientifique. Ces énoncés participent à la prise de décision politique.

La situation que l'enseignante crée est alors cohérente avec cette théorie explicite des savoirs scientifiques. En effet, les élèves sont confrontés à l'écriture normalisée des échanges scientifiques, ils sont exposés à des expertises différentes sur un même objet, produites par des communautés différentes aux intérêts divergents. Ils doivent s'engager dans une simulation d'action politique fondée sur ces expertises.

Autrement dit, il y a une grande cohérence entre la théorie explicite des savoirs scientifiques et celle de l'enseignement / apprentissage mise en œuvre.

Une théorie implicite de l'éducation

L'enseignante donne sens à son action à travers l'ambition éducative qu'elle a pour ses élèves : former des citoyens capables de s'emparer d'expertises pour participer à la prise de décision politique. La posture qu'elle tient dans cette séance peut être qualifiée d'« impartialité neutre », dans le sens où elle ne prend pas partie sur l'objet de la controverse, mais aussi d'« impartialité engagée » dans le sens où elle engage ses valeurs à la fois sur son rôle d'enseignante et sur ce qu'elle estime être le rôle du citoyen.

Cette volonté d'éduquer les élèves se manifeste de deux manières : elle vise ici le développement de l'esprit critique des élèves, par l'enseignement d'énoncés grammaticaux relatifs au fonctionnement de la science et de son lien avec la sphère politique, mais aussi elle cherche à simuler les conditions d'une participation des citoyens à la prise de décision politique. Autrement dit, ses valeurs éducatives dans cette séance sont liées à la fois aux savoirs qu'elle institutionnalise (des éléments critiques sur le fonctionnement des technosciences) et à la manière dont elle construit la séance (le jeu de rôle – modèle d'une conférence de citoyens).

Cette visée est donc cohérente avec la théorie implicite de l'enseignement / apprentissage qu'elle met en place : les élèves jouent le jeu de la conférence de citoyens et « vivent » leur rôle. Elle est de plus cohérente avec sa théorie explicite des savoirs scientifiques, puisque les élèves se confrontent à des expertises différentes et les savoirs institutionnalisés rendent compte de l'expérience qu'ils ont vécue.

15. Conclusion des analyses : une synthèse

Nous rassemblons ici une synthèse des tableaux de l'action conjointe de chaque séance que nous avons analysée. Cette synthèse rappelle par conséquent les éléments principaux des analyses précédentes afin de préparer le lecteur aux analyses comparatives qui sont l'objet du chapitre suivant (chapitre 16).

15.1 Séance A₁

La séance A₁ met en jeu majoritairement des énoncés de type grammatical qui sont les savoirs conceptuels liés à l'énergie. L'articulation de ces énoncés se fait dans une grammaire épistémologique implicite. Les énoncés de type empirique sont des applications des savoirs institutionnalisés et supportent les valeurs éducatives de l'enseignant A (responsabiliser les élèves à l'écologie, à la sécurité routière et aux inégalités économiques entre pays).

La topogénèse est majoritairement sous la responsabilité de l'enseignant et celle-ci est favorisée par une organisation de la classe souvent « en classe entière » et par l'emploi de formes de communication principalement de type « autoritative ». La topogénèse est du côté des élèves quand l'enseignant cherche à ce qu'ils expriment leurs idées, sans que celles-ci soient travaillées par la suite pour aboutir à la construction de nouveaux savoirs et elle est corrélée à une organisation sociale de la classe de travail « individuel » ou bien « au tableau ». D'un point de vue mésogénétique, nous avons vu que la séance est fortement interactive, que les interactions sont initiées par l'enseignant et qu'elles sont le plus souvent entre lui et un élève particulier (le schéma des échanges est du type I-R-P ou I-R-E). L'enseignant laisse vivre en outre majoritairement les éléments du milieu qui correspondent au point de vue institutionnel du savoir à enseigner.

La séance est une succession de nombreux jeux d'apprentissage indépendants, dont la structure est identique (jeu court qui se finit par une institutionnalisation écrite et que nous avons qualifié de « chronogénèse accélérée »). L'enseignant assure l'intégration des savoirs en mettant en œuvre des échelles différentes de dévolution : certains jeux préparent en effet les jeux à venir ou reprennent des savoirs vus dans des séances antérieures.

Nous avons décrit l'épistémologie pratique de l'enseignant A dans cette séance en distinguant trois dimensions imbriquées :

- une théorie implicite de l'enseignement / apprentissage majoritairement « transmissive » et participative ;
- une théorie implicite des savoirs de la physique : l'enseignant A considère que la physique est une explication du monde, un outil pour comprendre le monde et agir sur lui ; le statut des concepts relève de plusieurs courants épistémologiques (réalisme, empirisme, rationalisme) ; la notion de modèle est conçue comme une simplification du réel.
- une théorie implicite de l'éducation : les savoirs de la physique permettent de responsabiliser les élèves à l'écologie, à la sécurité routière, à l'inégalité sociale d'accès aux ressources énergétiques. L'enseignant choisit des situations qu'il estime susceptibles d' « affecter » les élèves. Ces situations prennent la forme d'énoncés empiriques et interviennent « à la marge » de la séance.

15.2 Séance A₂

La séance A₂ met en jeu majoritairement des énoncés de type empirique. Deux grammaires différentes sont utilisées pour articuler ces énoncés entre eux : des énoncés empiriques sur le fonctionnement du climat sont tout d'abord produits à partir d'énoncés grammaticaux vus dans les séances antérieures, puis des énoncés sont produits pour sensibiliser les élèves aux « défis énergétiques », ce sont alors les valeurs que l'enseignant attribue à son action (son rôle social d'éducateur, son image de la science vue comme activité sociale et technique) qui structurent la succession d'énoncés empiriques sur le changement climatique.

La topogénèse est majoritairement du côté de l'enseignant, le plus souvent associé à une forme d'organisation sociale « en classe entière » et à une forme de communication « autoritative ». La référence est alors soit exercée par les savoirs à institutionnaliser, soit exercée par l'évaluation que l'enseignant fait des capacités d'apprentissage des élèves. Les élèves ont la responsabilité du milieu quand les enjeux des jeux ne sont pas liés aux savoirs à institutionnaliser.

La séance est fortement interactive, les interactions ont lieu le plus souvent entre un élève et l'enseignant et à l'initiative de ce dernier.

Les jeux d'apprentissage se succèdent de façon indépendante et ont une structure le plus souvent identique, que nous avons qualifiée de « chronogénèse accélérée ». L'enseignant réalise alors la continuité des savoirs en jouant sur des modalités différentes de dévolution (par exemple, certains jeux ont pour fonction de dévoluer les jeux à venir ou bien l'enseignant s'appuie sur des séances antérieures pour justifier certains jeux).

L'épistémologie pratique peut être décrite par l'imbrication de trois théories que l'enseignant met en œuvre dans la pratique :

- une théorie implicite de l'enseignement / apprentissage majoritairement « transmissive » et participative ;
- une théorie implicite des savoirs de la physique : la physique a pour fonction d'expliquer le monde et elle est une activité s'appuyant sur le développement technique (méthodes modernes de mesure, modélisations informatiques, énergies renouvelables), proposant une démarche (la démarche scientifique) pour comprendre et agir sur le monde, et finalement la physique est source de progrès social ; l'enseignant conçoit de plus l'établissement de la preuve en sciences comme un problème avant tout technique.
- une théorie implicite de l'éducation : l'étude du changement climatique est une occasion pour l'enseignant de sensibiliser les élèves aux « défis énergétiques » qu'il définit comme la problématique de la fin à venir d'un monde fondé sur l'exploitation et l'utilisation de sources fossiles d'énergie. Sa visée éducative le conduit à un changement de posture au cours de la séance : cette dernière passe en effet de la « neutralité exclusive » à la « partialité exclusive », car il exprime en fin de séance ses valeurs, qui fondent son projet éducatif.

15.3 Séance B₁

Cette séance met en jeu majoritairement des énoncés de type grammatical : ce sont des savoirs liés à l'énergie et des savoirs épistémologiques (comme l'explicitation de la notion de concept ou de modèle). Les savoirs épistémologiques structurent la grammaire dans laquelle les savoirs liés à l'énergie se combinent. Ils constituent également des outils conceptuels participant à la visée éducative de l'enseignante : développer les capacités de raisonnement des élèves. Les énoncés grammaticaux (le modèle de la chaîne énergétique, l'énergie vue dans ses transformations) servent également de grammaire pour la production d'énoncés empiriques, dont la fonction est la production de nouveaux énoncés grammaticaux par confrontation entre les énoncés empiriques produits par les élèves pour décrire des conversions d'énergie et les énoncés grammaticaux institutionnels (le nom des formes d'énergie).

La séance prend deux formes différentes suivant le type d'énoncés qui est l'objet d'un jeu d'apprentissage :

- quand les enjeux des jeux d'apprentissage sont les énoncés grammaticaux : la topogénèse est majoritairement sous la responsabilité de l'enseignante, et peut être associée à une forme d'organisation sociale de la classe « en classe entière » et à une forme de communication « autoritative ». Les interactions sont de type I-R-E, à l'initiative de l'enseignante et elle introduit davantage d'objets que les élèves dans le milieu ;
- quand les enjeux des jeux d'apprentissage sont les énoncés empiriques : la topogénèse est alors principalement sous la responsabilité des élèves, et peut être associée à une forme d'organisation sociale de la classe « en groupe » (travail de groupe puis d'exposés de groupe) ainsi qu'à une forme dialogique de communication. Les interactions sont alors complexes et entre élèves. L'enseignante évite d'intervenir dans l'évolution du milieu une fois que le jeu est défini.

L'enseignante intègre anciens et nouveaux savoirs en jouant sur différentes modalités de dévolution : centrée sur les savoirs vus antérieurement et centrée sur les tâches futures.

Nous avons qualifié la chronogénèse d' « intégrative » dans le sens où les enjeux successifs des jeux joués sont remis en jeu dans les jeux suivants. Cette intégration fait qu'un jeu ne peut pas être joué si le jeu précédent ne l'a pas été. L'institutionnalisation des savoirs porte uniquement sur des énoncés grammaticaux.

L'épistémologie pratique peut être décrite par l'imbrication de théories que l'enseignante met en œuvre dans la pratique :

- une théorie implicite de l'enseignement/apprentissage qui varie suivant le type d'énoncés travaillés, plutôt de type transmissif pour les énoncés grammaticaux et davantage socioconstructiviste pour les énoncés empiriques ;
- une théorie plus ou moins explicite des savoirs de la physique : les savoirs scientifiques sont des concepts, qui sont manipulables à travers un modèle ; ils sont produits par des scientifiques organisés en communautés, qui travaillent à décrire des phénomènes pour comprendre le monde et agir sur lui par la fabrication d'outils ;
- une théorie implicite de l'éducation : l'enseignante vise à « ouvrir l'esprit » des élèves. Cette ambition est indépendante des savoirs de la physique, car elle est liée à une conception cognitiviste de l'esprit : « connecter le cerveau de nouvelles façons », ce qui signifie que les savoirs en physique sont en quelque sorte des supports à un travail intellectuel.

15.4 Séance B₂

La séance B₂ met en jeu majoritairement des énoncés de type empirique, qui portent sur les arguments scientifiques qui permettent de prouver l'origine anthropique du changement climatique, ainsi que sur les solutions pour limiter ce changement. Ces énoncés mettent en jeu les domaines techniques (énergies renouvelables et nucléaire), politiques et culturels. Les énoncés de type grammatical portent sur la nature de la science, dans son imbrication avec les choix politiques (le modèle de la conférence de citoyens, l'expertise scientifique). Ces énoncés participent au projet éducatif de l'enseignante car ils donnent à voir la collusion entre expertise scientifique et action politique. En ce sens, ces énoncés participent à un développement de l'esprit critique des élèves, vus comme futurs citoyens.

La topogénèse est principalement sous la responsabilité des élèves dans cette séance et elle est associée à une forme d'organisation sociale de la classe en groupe (travail de groupe, exposés de groupe et débats). Les formes de communication sont « autoritative » quand la référence est celle des documents sur lesquels les groupes travaillent puis dialogique quand les élèves débattent. La topogénèse est sous la responsabilité de l'enseignante quand la forme d'organisation sociale de la classe est « en classe entière ».

La séance est fortement interactive et les interactions sont très majoritairement complexes, entre élèves et à leur initiative. L'enseignante introduit des objets dans le milieu de façon à ce que le milieu vive par lui-même. Elle régule principalement le jeu où les élèves doivent s'approprier les expertises fournies.

Cette séance est de plus autonome dans le sens où aucun élément de séances précédentes ou à venir n'y intervient. Nous avons également décrit la structure de la séance comme étant à chronogénèse intégrative, dans la mesure où chaque jeu joué conditionne le jeu suivant, non seulement dans son contenu mais dans ses règles.

Nous avons décrit l'épistémologie pratique de l'enseignante B dans cette séance en distinguant trois dimensions imbriquées :

- une théorie implicite de l'enseignement/apprentissage socioconstructiviste : l'enseignante intervient peu dans les jeux, les élèves construisent les savoirs « en situation », en échangeant entre eux et en le présentant au reste de la classe. Ces échanges donnent lieu à des débats entre élèves ;
- une théorie plus ou moins explicite des savoirs de la physique : l'enseignante établit un lien entre ces savoirs et l'action politique, à travers la notion d'expertise scientifique, vue comme aide à la prise de décision politique. L'expertise est alors conçue comme produite par des scientifiques, qui sont organisés en communautés et qui fonctionnent en échangeant sur leurs travaux à travers des circuits de diffusion et une écriture codifiée. La production scientifique est présentée comme étant engagée et dépendante de ses sources de financements ;
- une théorie implicite de l'éducation : l'enseignante vise à former des citoyens « actifs », capables d'analyser des expertises et d'avoir un regard critique sur celles-ci : il s'agit donc d'une volonté d'éduquer les futurs citoyens à un rôle social.

Partie 6 : Discussion et conclusion

« C'est par des chemins divers que vont les hommes. Qui les suit et les compare verra d'étranges figures prendre naissance. Figures qui appartiennent, semble-t-il, à cette grande écriture chiffrée que l'on aperçoit partout : sur les ailes, sur les coquilles des oeufs, dans les nuages, dans la neige, dans les cristaux et pétrifications, sur les eaux qui gèlent, à l'intérieur et à l'extérieur des roches, des plantes, des animaux, des hommes, dans les étoiles du ciel, sur les plateaux de résine et de verre frottés et mis en contact, dans les courbes de la limaille autour de l'aimant et dans les surprenantes conjectures du hasard. On pressent dans ces figures la clé de cette écriture secrète, sa grammaire, mais ce pressentiment lui même ne se laisse pas réduire en formes fixes et se refuse, semble-t-il, à devenir une clé plus efficace. On dirait qu'un alcahest s'est répandu sur les sens de l'homme »

Novalis, *les disciples à Saïs*, 1792.

Sommaire de la partie 6

16. DISCUSSION DES RÉSULTATS	357
16.1 Discussion des résultats : une approche comparatiste	357
16.2 Discussion des résultats : une approche critique.....	374
17. CONCLUSION.....	385
17.1 Rappels des principaux résultats	385
17.2 Perspectives envisagées	386

16. Discussion des résultats

Après avoir analysé séparément chaque séance, nous commençons par discuter nos résultats d'analyse en envisageant des comparaisons (16.1). Nous revenons à nos questions de recherche, afin d'établir les comparaisons qui nous permettent d'élaborer des éléments de réponse. Nous prenons ensuite du recul pour tout d'abord dégager les différents apports de notre recherche, puis ensuite critiquer notre méthodologie et les ajustages théoriques que nous avons dû construire (16.2).

16.1 Discussion des résultats : une approche comparatiste

A partir des quatre tableaux de la pratique construits, nous envisageons plusieurs comparaisons. Tout d'abord, il nous semble important de rappeler ici nos questions de recherche¹³³ :

- Quelles spécificités et généralités prend le jeu didactique dans les deux contextes différenciés de l'enseignement de l'énergie et du changement climatique ? (Q₁)
- Quelles spécificités et généralités prend l'épistémologie pratique dans les deux contextes différenciés de l'enseignement de l'énergie et du changement climatique ? (Q₂)
- Quel rôle peut jouer l'épistémologie pratique dans l'explicitation des freins / leviers qui permettrait une articulation de savoirs liés à la « science en action » et à la « science faite » dans la pratique d'un enseignant ? (Q₃)

Nous comparons tout d'abord les deux séances qui ont été analysées pour chaque enseignant, c'est-à-dire A₁ et A₂ pour l'enseignant A (16.1.1) et B₁ et B₂ pour l'enseignant B (16.1.2). En effet, la comparaison des deux séances vise à dégager des éléments génériques et spécifiques de l'action conjointe pour chaque enseignant et constitue la réponse à notre première question de recherche (Q₁). Nous dégageons alors de ces deux comparaisons un synopsis qui détaille les descriptions que nous faisons des épistémologies pratiques de chaque enseignant, dans ce qu'elles ont de générique aux deux séances et de spécifique à chaque séance (16.1.3). Ce synopsis constitue alors notre réponse à la deuxième question de recherche (Q₂).

Puisque ces séances portent sur la même thématique pour les deux enseignants, nous comparons également la pratique des deux enseignants sur une même thématique, afin d'en extraire des éléments génériques et spécifiques liés à l'enseignement de cette thématique. C'est ainsi que nous comparons les deux séances sur l'énergie, A₁ et B₁ (16.1.4), puis sur le changement climatique, A₂ et B₂ (16.1.5). Nous concluons finalement sur ce que ces comparaisons apportent à notre compréhension de l'épistémologie pratique des deux enseignants sur les deux séances analysées et proposons alors des éléments de réponse à notre question (Q₃) (16.1.6).

¹³³ Voir le chapitre 9 : problématique, p. 127.

16.1.1 Comparaison des analyses de pratique de l'enseignant A dans les deux séances A₁ et A₂

Nous reprenons dans cette partie des éléments des tableaux de l'action conjointe de l'enseignant A des deux séances analysées (voir 11.4, p. 206, et 12.4, p. 262), afin de dégager des éléments génériques (16.1.1.1) et spécifiques (16.1.1.2) de sa pratique dans ces deux séances.

16.1.1.1 Des éléments génériques dans les deux séances qui assurent la continuité dans la pratique de l'enseignant A

Nous développons ici deux éléments génériques :

- une similitude dans la manière dont les jeux sont joués (16.1.1.1.1) ;
- une épistémologie pratique de l'enseignant A cohérente et centrée sur les savoirs (16.1.1.1.2).

16.1.1.1.1 Des jeux d'apprentissage joués de la même façon

La manière dont les jeux sont joués est globalement similaire dans les deux séances, car la description du triplet de genèses présente de nombreuses caractéristiques communes (topogénèse majoritairement sous la responsabilité de l'enseignant, associée à une organisation de la classe en « classe entière » et à une forme de communication « autoritative » ; mésogénèse interactive centrée sur les savoirs à institutionnaliser ; succession de jeux à chronogénèse « accélérée » ; différentes échelles de dévolution). Nous pouvons donc conclure à ce stade de la description que la théorie implicite de l'enseignement / apprentissage, qui est majoritairement de nature participative et transmissive dans les 2 séances, est un élément générique de la pratique de l'enseignant A dans les séances analysées. Il utilise principalement la méthode du cours dialogué, quel que soit le type grammatical ou empirique des énoncés scientifiques.

L'enseignant A démarre de plus les 2 séances de manière identique : il met en place un milieu sous la responsabilité des élèves, ayant pour enjeu la formulation d'énoncés du langage courant, afin de problématiser la séance. On trouve ici aussi une continuité à la fois dans la forme que prend la problématisation, mais aussi par les thèmes développés : la notion de « défi énergétique » est citée dans les deux séances.

16.1.1.1.2 Une épistémologie pratique cohérente et centrée sur les savoirs

L'enseignant A met en œuvre dans la séance sur l'énergie une pratique de classe qui fait de lui un transmetteur de savoirs. La topogénèse est majoritairement sous sa responsabilité et c'est donc lui qui assure la succession des savoirs à institutionnaliser. Son action consiste alors à conduire les élèves vers ces savoirs, en jouant implicitement sur une grammaire épistémologique afin de réduire l'écart entre les élèves et les savoirs. Les énoncés grammaticaux sont construits dans une forme « autoritative » de communication, dont l'autorité est constituée des savoirs à institutionnaliser. Les énoncés de type empirique sont produits de la même façon que les énoncés grammaticaux par l'enseignant : la transmission ne

se réfère plus aux savoirs à institutionnaliser, mais plutôt aux valeurs que l'enseignant attribue à son action, sensibiliser les élèves à des thématiques qui lui semblent importantes. Cette sensibilisation se fait donc à travers un nouveau savoir : un énoncé empirique sur le monde (par exemple, la consommation énergétique est inégale suivant les pays, une voiture qui roule à 150 km/h a une énergie équivalente à sa chute depuis le haut d'un immeuble de 30 étages, etc.). La théorie implicite de l'éducation que mobilise l'enseignant est à cet égard liée à sa théorie implicite sur les savoirs : la physique permet d'expliquer et cette explication contribue à l'éducation des élèves. De même, ces théories sont cohérentes avec sa théorie implicite de l'enseignement / apprentissage : l'enseignant explique, car la physique permet d'expliquer, et les explications ont une portée éducative. Autrement dit, tout se passe comme si l'enseignant A fonde son action sur une épistémologie pratique centrée sur les savoirs et cohérente dans ces trois dimensions enseignement / apprentissage – science / savoirs – éducation.

Nous retrouvons ces éléments dans la séance sur le climat. Tout d'abord, l'enseignant se pose également en transmetteur du savoir, en adoptant une théorie implicite de l'enseignement / apprentissage de type transmissive et de cours dialogué. Le savoir est ici lié à des énoncés empiriques sur le fonctionnement du climat et sur le changement climatique. Les énoncés empiriques sur le fonctionnement du climat sont produits par la mobilisation d'énoncés grammaticaux et la référence est constituée à la fois par les savoirs à institutionnaliser et par le degré de rationalité estimée par l'enseignant de l'explication fournie par les élèves. En ce sens, la théorie implicite de l'enseignement / apprentissage est liée à sa théorie implicite sur les savoirs : la physique sert à expliquer et cette explication, faite par les élèves, est évaluée in fine par ce que l'enseignant estime des capacités d'apprentissage des élèves. Les énoncés empiriques sur le changement climatique sont également produits en utilisant une forme de communication majoritairement « autoritative », dont l'autorité réfère à la position du GIEC. C'est cette autorité qui fonde la position de « neutralité exclusive » adoptée par l'enseignant. Il se réfère alors à des énoncés grammaticaux, qui portent sur la nature de la science et qui légitiment l'autorité qu'il donne à la position du GIEC. Toutefois, cette neutralité affichée par l'enseignant exige de lui, pour être complètement neutre, qu'il intègre les controverses sur le climat dans son discours, c'est pourquoi il utilise des précautions oratoires quand il institutionnalise l'hypothèse anthropique du changement climatique (notamment l'utilisation du conditionnel). Les valeurs éducatives de l'enseignant structurent profondément la séance et il les explicite en fin de séance, en réintroduisant l'idée de controverses : sa posture est alors celle de la « partialité exclusive » car il impose son point de vue. Ce glissement de posture peut s'interpréter par son épistémologie pratique : il se met en position de transmetteur (théorie implicite de l'enseignement / apprentissage) et explique le changement climatique (théorie implicite sur les savoirs), et puisqu'une explication complète doit inclure les controverses, il explicite ses valeurs : il faut croire au changement climatique, car c'est un moyen de résoudre la fin à venir des sources fossiles d'énergie (théorie implicite de l'éducation) et ces valeurs sont renforcées par l'image construite de l'activité scientifique (théorie implicite sur la science). Autrement dit, tout se passe ici comme dans la séance sur l'énergie, l'enseignant A fonde son action sur une épistémologie pratique, cohérente dans ses différentes dimensions, et centrée sur les savoirs.

16.1.1.2 Des éléments spécifiques dans les deux séances

Nous développons ici les éléments spécifiques suivant :

- les fonctions différentes des énoncés grammaticaux dans les deux séances (16.1.1.2.1) ;
- l'intention de responsabiliser les élèves : une même logique mise en œuvre différemment dans les deux séances (16.1.1.2.2).

16.1.1.2.1 Les énoncés de type grammatical ont des fonctions différentes dans les deux séances

Dans la séance sur l'énergie, le savoir scientifique est constitué par un réseau de concepts et le travail conjoint de l'enseignant et des élèves consiste à en construire l'articulation. Face à la complexité des phénomènes physiques, le travail conceptuel sur l'énergie permet d'en simplifier la description. C'est alors un autre type de complexité auquel sont confrontés les élèves : l'élaboration d'un cadre de représentation, constitué d'un vocabulaire spécifique (énergie totale d'un système, énergie cinétique, chaîne énergétique, etc.) et d'une syntaxe, car c'est un travail « souterrain » épistémologique qui crée du lien dans le tissu conceptuel où chaque élément trouve une place. Dans la séance sur le changement climatique, le savoir scientifique a un statut complètement différent : les outils de représentation sont déjà en place car ils ont été construits antérieurement. Ils sont alors mobilisés pour rationaliser le fonctionnement du climat et produire des énoncés empiriques. Le système climatique peut alors être décrit en utilisant les éléments de langage construit dans les séances précédentes. Autrement dit, les élèves parlent le langage de la physique pour expliquer les phénomènes climatiques. Alors que dans la séance sur l'énergie, les énoncés grammaticaux sont une fin en soi, les énoncés grammaticaux servent dans la séance sur le changement climatique à décrire le fonctionnement du climat et sont utilisés pour introduire l'idée de changement et discuter des résultats scientifiques. Les énoncés grammaticaux qui sont l'enjeu d'un jeu d'apprentissage dans la séance sur le climat portent alors sur la nature de la science, ils ne sont pas manipulés par les élèves et servent essentiellement à justifier les énoncés empiriques qui sont produits.

16.1.1.2.2 L'intention de responsabiliser les élèves : une même logique mise en œuvre différemment dans les deux séances

Ce sont les énoncés de type empirique qui mettent en jeu les valeurs éducatives de l'enseignant dans les 2 séances, cependant les énoncés empiriques sont minoritaires dans la séance sur l'énergie et majoritaires dans la séance sur le changement climatique.

Dans la séance sur l'énergie, l'enseignant s'empare de la notion du « défi climatique » pour problématiser la séance puis saisit marginalement des opportunités pour sensibiliser les élèves à des problématiques qui lui semblent importantes, lors de la construction d'énoncés empiriques. Le moyen qu'il privilégie est alors de « marquer » les élèves. Le choix des activités et des énoncés empiriques est par conséquent un moyen pour l'enseignant d'éduquer les élèves par la physique.

Cette intention éducative est par contraste centrale dans la séance sur le changement climatique. Aborder cette thématique est une occasion pour l'enseignant de sensibiliser les élèves à la problématique de la fin à venir d'un monde fondé sur l'exploitation et l'utilisation d'énergies fossiles. C'est en ce sens que la controverse du changement climatique n'est pas exploitée en classe : celle-ci constitue un obstacle à l'idée qu'il se fait de son rôle social, celui d'engager les élèves à l'action en leur expliquant le monde. Les valeurs éducatives sur lesquelles l'enseignant fonde sa fonction sociale structurent ici profondément la séance alors qu'elles n'ont qu'un rôle secondaire dans la séance sur l'énergie. Elles se légitiment de plus en couplage avec une vision « technophile » sur le progrès social induit par le développement scientifique et technique.

16.1.2 Comparaison des analyses de pratique de l'enseignante B dans les deux séances B₁ et B₂

Nous reprenons dans cette partie des éléments des tableaux de la pratique de l'enseignante B des deux séances analysés (voir 13.4, p. 304, et 14.4, p. 347), afin de dégager des éléments génériques (16.1.2.1) et spécifiques (16.1.2.2) de ses pratiques.

16.1.2.1 Des éléments génériques dans les 2 séances qui assurent la continuité dans la pratique de l'enseignante B

Nous développons ici deux éléments génériques :

- une similitude dans la manière dont les jeux sont joués (16.1.2.1.1) ;
- une même fonction des énoncés grammaticaux (16.1.2.1.2) ;
- une épistémologie pratique de l'enseignante B cohérente et centrée sur l'activité des élèves (16.1.2.1.3).

16.1.2.1.1 Des similitudes dans la manière de jouer les jeux d'apprentissage

Tout d'abord, nous avons qualifié la chronogénèse d' « intégrative » dans les deux séances, ce qui signifie que les jeux dépendent très fortement des jeux qui ont été joués antérieurement. Il y a donc une similitude de structure dans la manière dont les jeux d'apprentissage sont articulés les uns par rapport aux autres dans ces deux séances.

Si l'enseignante utilise des techniques variées dans la séance sur l'énergie (cours dialogué, magistral, travail de groupe), elle utilise essentiellement le travail de groupe dans la séance sur le climat. Toutefois, le travail de groupe a des similitudes dans les 2 séances. L'enseignante laisse en effet la responsabilité du milieu aux élèves et les interactions sont de type complexes et entre les élèves. Ils développent alors des énoncés empiriques et l'enseignante n'intervient dans les jeux que pour s'assurer que les élèves sont en mesure de jouer, ses interventions ne concernent alors pas le savoir à institutionnaliser. Nous remarquons également que ce sont les énoncés grammaticaux que l'enseignante institutionnalise dans les deux séances.

16.1.2.1.2 Les énoncés grammaticaux ont pour fonction d'explicitier les conditions d'énonciation des énoncés empiriques

Les énoncés grammaticaux ont une fonction similaire dans les deux séances : ils explicitent des conditions d'énonciation des énoncés empiriques. Les énoncés grammaticaux constituent la grammaire des énoncés empiriques dans la séance sur l'énergie (à travers la recherche de noms à donner aux formes d'énergie en utilisant le modèle de la chaîne énergétique proposée), ils constituent le cadre social d'action pour la séance sur le climat (à travers la répartition des rôles à jouer pour simuler une conférence de citoyens).

Les énoncés empiriques conduisent dans les deux séances à de nouveaux énoncés grammaticaux : noms institutionnels des formes d'énergie par confrontation des énoncés empiriques des élèves avec les normes de la communauté scientifique dans la séance de

l'énergie, propriétés de l'expertise scientifique par extrapolation des rôles joués dans la séance sur le changement climatique.

16.1.2.1.3 Une épistémologie pratique cohérente dans chaque séance et centrée sur l'activité des élèves

Après avoir fourni aux élèves des outils conceptuels, qui sont des savoirs scientifiques et épistémologiques liés à l'énergie, l'enseignante organise le travail de façon à ce qu'ils aient la responsabilité de la topogénèse, et que l'institutionnalisation émerge d'une intégration de différents jeux d'apprentissage où la validation successive des savoirs se fait tout d'abord au sein d'un groupe d'élèves, fait l'objet d'une présentation et est discutée par le reste de la classe, et enfin est validée par confrontation aux normes établies par la communauté savante. On peut décrire l'activité des élèves ici par analogie avec l'activité d'une « communauté scientifique » réduite à l'échelle de la classe : les énoncés empiriques sont négociés entre pairs au sein des groupes, puis rendus publics afin d'être discutés et finalement un consensus émerge et est validé par cette « communauté scientifique ». L'enseignante reste en dehors des échanges entre élèves et tout se passe comme si la modalité d'enseignement/apprentissage a plus d'importance que la nature des énoncés produits. En ce sens, il y a une cohérence entre la théorie implicite développée sur les savoirs et la science (la construction sociale d'un consensus au sein d'une « communauté scientifique » à l'échelle de la classe) et la théorie implicite de l'enseignement / apprentissage (socio-constructiviste). Parallèlement, elle vise dans cette séance à développer les capacités de raisonnement des élèves, afin de contribuer à une complexification et « une ouverture de leur esprit ». Ce travail sur le développement de la pensée des élèves s'incarne donc à la fois dans le travail fait par cette communauté scientifique et par la forme socioconstructiviste que prend la situation. Il y a donc une grande cohérence dans l'épistémologie pratique de l'enseignante entre les trois dimensions enseignement / apprentissage – science / savoirs – éducation, et les savoirs deviennent alors des supports à l'activité des élèves.

C'est également le développement de la pensée des élèves qui est visé dans la séance sur le climat. En effet, l'enseignante veut former des citoyens capables d'appuyer leur discours sur des expertises et capables de critiques sur les expertises mobilisées par la sphère politique. L'ambition de développement de la pensée critique prend alors deux formes dans la séance. La première est explicitée par les énoncés grammaticaux qui sont exprimés par l'enseignante : l'expertise scientifique est codifiée et est produite par une communauté de personnes aux intérêts quelquefois divergents, l'expertise n'a donc pas de rapport avec la vérité, elle est plurielle et aide à l'action politique. On a donc ici une cohérence entre une théorie explicitée des savoirs scientifiques et de l'activité scientifique et des valeurs éducatives.

Deuxièmement, le développement de la pensée critique est opérationnalisé par l'enseignante dans une forme scolaire très particulière, celle de la simulation à l'échelle de la classe d'une conférence de citoyens sur le changement climatique. Les élèves sont donc mis en situation de jouer des rôles, pour certains d'experts et pour d'autres de citoyens. La modalité selon laquelle se fait ce jeu est un travail de groupes, fait de construction d'un rôle à partir d'informations fournies par des documents, de présentation des différentes expertises et de débats initiés par les élèves-citoyens. Les élèves échangent entre eux, présentent le résultat de leur travail et débattent de façon à aboutir à un consensus. On a donc également dans cette séance une cohérence entre une théorie explicite des savoirs scientifiques et de l'activité scientifique (en tant qu'acteur social) et une théorie implicite de l'enseignement/apprentissage socioconstructiviste. Cette cohérence s'inscrit également dans une visée éducative : ce que les élèves ont à apprendre c'est un certain fonctionnement des technosciences, mais « pour

apprendre, il faut qu'ils le vivent » et cet apprentissage a une fonction : développer la pensée critique des élèves pour former les citoyens. Finalement, ce que l'enseignante institutionnalise est indépendant de la problématique du changement climatique : les savoirs scientifiques liés au changement climatique sont secondaires, l'activité des élèves est première. C'est en ce sens que la posture de l'enseignante est d' « impartialité engagée » : ce sont ces valeurs éducatives qui l'engagent, plus que la neutralité qu'elle adopte sur la controverse qu'elle met en place.

16.1.2.2 Des éléments spécifiques dans les 2 séances

Nous développons ici les éléments spécifiques suivant :

- les modalités différentes de dévolution (16.1.2.2.1) ;
- des énoncés grammaticaux de nature différente (16.1.2.2.2) ;
- des fonctions différentes pour les formes de communication (16.1.2.2.3) ;
- l'intention d'éduquer les élèves : une variation (16.1.2.2.4).

16.1.2.2.1 Des modalités différentes de dévolution

Tout d'abord, la séance sur l'énergie s'inscrit dans un continuum. En effet, des contenus de séances passées et à venir sont incorporés à la séance. Nous avons ainsi interprété comme un processus de dévolution l'exemple de la force, que l'enseignante utilise pour dévoluer le jeu lié à la définition de l'énergie et, de la même façon, l'introduction de la notion de « concept » est justifiée par l'enseignante en prévision des séances suivantes, qui donneront lieu à un travail mathématique. Cette occurrence d'éléments exogènes est absente de la séance sur le climat, ce qui fait que cette séance est autonome, en regard des savoirs scientifiques vus auparavant et à venir.

16.1.2.2.2 Des énoncés grammaticaux de nature différente : épistémologie vs sociologie des sciences

Les énoncés grammaticaux sont de nature différente dans les deux séances.

En effet, dans la séance sur l'énergie, ces énoncés sont liés aux savoirs scientifiques en jeu (la définition de l'énergie, ses transformations, etc.) ou à des savoirs épistémologiques (le concept, le modèle). Dans la séance sur le climat, les énoncés grammaticaux portent plutôt sur des éléments sociaux de l'activité scientifique (le modèle de conférence, les propriétés de l'expertise). Le mot « modèle » utilisé dans les deux séances a par exemple deux sens différents. Dans la séance sur l'énergie, le mot « modèle » est utilisé dans son acception épistémologique, c'est-à-dire en tant qu'il a une fonction heuristique de production de savoirs nouveaux (ici des énoncés empiriques) à partir de savoirs connus (ici des énoncés grammaticaux). Dans la séance sur le climat, le mot « modèle » réfère davantage à la simulation d'une situation sociale simplifiée : les énoncés grammaticaux donnent alors un cadre à l'action, mais ne sont pas mobilisés en tant que grammaire des énoncés empiriques produits.

16.1.2.2.3 Des fonctions différentes pour les formes de communication

Les formes de communication ont également une fonction différente dans les deux séances. Dans la séance sur l'énergie, le travail en groupe sur des convertisseurs d'énergie conduit les élèves à adopter une forme de communication dialogique dès le début du jeu pour construire un raisonnement collectif. La forme de communication devient « autoritative » quand l'enseignante confronte les propositions des élèves au savoir institutionnel. On a donc dans le travail de groupe un mouvement qui va de discours multiples portés par les élèves à un discours unique qui est celui du savoir à institutionnaliser.

Ce mouvement est inverse dans la séance sur le climat. Le travail de groupe commence en effet par une forme de communication « autoritative », dont la référence est constituée par l'expertise à défendre. C'est ensuite la confrontation des expertises différentes qui conduit à des formes dialogiques dans le milieu. Toutefois, dans les deux séances, le mouvement est cohérent avec les objectifs de l'enseignante : pour l'énergie, il s'agit d'institutionnaliser un savoir en l'ancrant dans une référence unique ; pour le climat, c'est justement l'absence de référence unique qui permet à l'enseignante d'institutionnaliser « l'absence de vérité » de la science en action.

16.1.2.2.4 L'intention d'éduquer les élèves : développer la pensée vs développer la pensée critique

Les valeurs éducatives sur lesquelles l'enseignante fonde l'ambition de son enseignement sont liées dans les deux séances au développement de la pensée des élèves. Dans la séance sur l'énergie, il s'agit d'une volonté de faire raisonner les élèves, dans la mesure où le raisonnement est un travail de l'esprit, qui en permet une « ouverture » et une complexification. C'est par conséquent un développement individuel qui est visé. Les savoirs scientifiques sont alors vus comme des supports à ce travail et non une finalité de la séance. Dans la séance sur le climat, c'est un développement de la pensée *critique* des élèves, en tant que capacité à relever les fondements d'un discours (qui parle et dans quel but). Il s'agit ici du développement social de l'esprit qui est visé, car la critique s'exerce, non pas sur le discours propre tenu par les élèves, mais sur un discours extérieur, sur lequel il s'agit d'être critique.

16.1.3 Tableau synoptique des épistémologies pratiques à partir des comparaisons des pratiques analysées

Nous reprenons ici les différents éléments développés dans les paragraphes précédents et les structurons du point de vue de l'épistémologie pratique. Le synopsis ci-après présente le modèle de l'épistémologie pratique de l'enseignant, dans ces trois dimensions (théories de l'enseignement / apprentissage, des savoirs scientifique et de la science, de l'éducation), dégage pour chaque enseignant les éléments génériques à chaque séance, puis les éléments qui sont spécifiques aux savoirs enseignés.

L'épistémologie pratique comme modèle explicatif de l'action conjointe :

Trois dimensions intriquées :

Théorie de l'enseignement / apprentissage

Théorie des savoirs scientifiques et de la science

Théorie de l'éducation

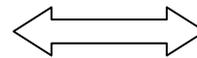
Enseignant A

Théorie de l'enseignement / apprentissage « transmissive » et « participative »

Les savoirs de la physique constituent une explication du monde et sont des outils pour comprendre le monde

L'enseignement / apprentissage de la physique vise à responsabiliser les élèves, en les confrontant à des savoirs qui peuvent les affecter

Epistémologie pratique de chaque enseignant, commune aux deux séances



Enseignante B

Théorie de l'enseignement / apprentissage « transmissive » pour les énoncés grammaticaux et « socioconstructiviste » pour les énoncés empiriques

La physique est une activité sociale, réalisée par une communauté
L'enseignement / apprentissage de la physique vise à développer la pensée des élèves, en les mettant en activité

Enseignant A

A₁

Théorie de l'enseignement / apprentissage « transmissive » et « participative »

Les savoirs de la physique sont articulés dans une grammaire implicite (le statut épistémologique des savoirs évolue, le modèle est une simplification du réel)

La visée éducative de responsabilisation des élèves est mise en œuvre à la marge de l'enseignement / apprentissage des savoirs scientifiques

Enseignant A

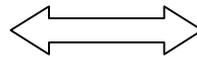
A₂

Théorie de l'enseignement / apprentissage « transmissive » et « participative »

Les savoirs de la physique sont articulés dans une grammaire implicite (la physique est liée à la technique, la démarche scientifique consiste à observer/comprendre/agir, la physique est source de progrès social)

La visée éducative de responsabilisation des élèves structure la séance

Epistémologie pratique de chaque enseignant, spécifique aux deux séances



Enseignante B

B₁

Théorie de l'enseignement / apprentissage « transmissive » et « socioconstructiviste » suivant les énoncés

Les savoirs de la physique sont articulés dans une grammaire explicite (épistémologique majoritaire : les savoirs sont des concepts, le modèle est un outil heuristique ; sociologique minoritaire : la physique est une activité sociale de création de consensus dans une communauté)

L'enseignement / apprentissage de la physique vise à développer le raisonnement et la conceptualisation des élèves, en les mettant en activité

Enseignante B

B₂

Théorie de l'enseignement / apprentissage majoritairement « socioconstructiviste »

Les savoirs de la physique sont articulés dans une grammaire explicite (sociologique : ils sont construits dans une communauté sociale, qui fonctionne selon des codes ; ils servent à la prise de décision politique sous la forme d'expertise ; il existe des controverses)

L'enseignement / apprentissage de la physique vise à développer la pensée critique des élèves, en les mettant en activité

Tableau synoptique des comparaisons effectuées en 16.1.1 et 16.1.2

16.1.4 Comparaison des analyses de pratique sur les deux séances A₁ et B₁ sur l'énergie

Nous comparons ici les analyses des deux séances sur l'énergie, afin de dégager des éléments de compréhension sur les pratiques qui seraient propres à l'enseignement de l'énergie.

Nous rappelons tout d'abord quelques éléments épistémologiques et historiques sur l'énergie (16.1.4.1), avant de confronter dans un même synopsis les thèmes abordés dans chaque séance (16.1.4.2). Nous développons alors les éléments génériques que nous retrouvons dans les deux séances (16.1.4.3), puis les éléments spécifiques (16.1.4.4).

16.1.4.1 Rappels épistémologiques et historiques sur l'énergie

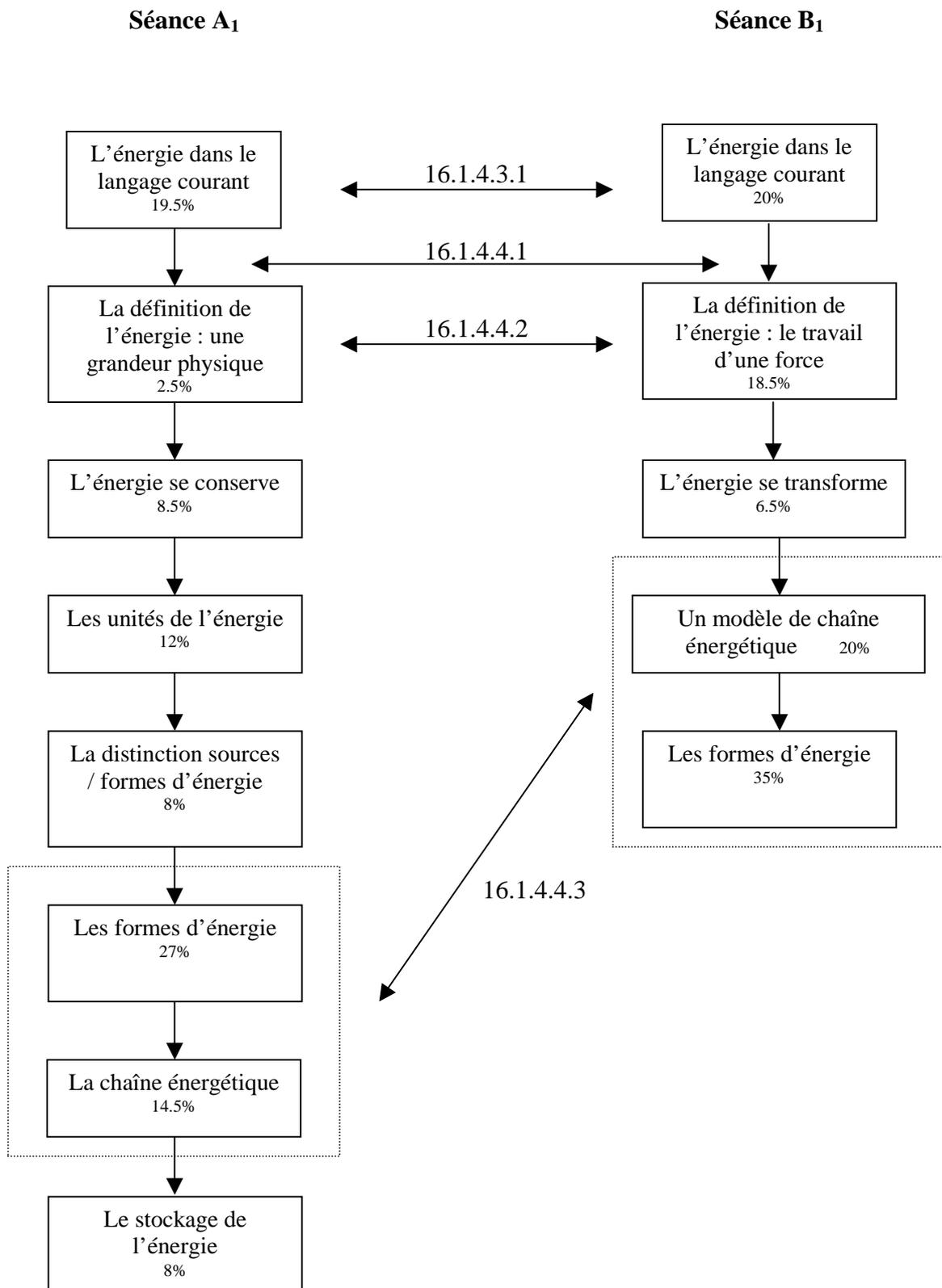
Nous rappelons quelques éléments d'histoire des sciences car nous estimons qu'ils rendent compréhensibles certains points des analyses que nous avons menées.

Nous avons vu dans le chapitre 5 que l'énergie est une construction conceptuelle qui a émergé de la nécessité pour les physiciens de décrire de manière identique des phénomènes mêlant des champs différents de la physique. C'est ainsi que l'étude des machines à vapeur s'est retrouvée au centre des préoccupations du 19^{ème} siècle, car si l'objectif des ingénieurs était d'optimiser le rendement de ces machines, il était également nécessaire de traduire dans un même cadre la conversion qui se fait dans la machine entre des phénomènes thermiques et mécaniques. L'énergie a alors été définie dans un arrière-plan métaphysique : s'il y a connexion entre des phénomènes différents, c'est bien qu'il y a quelque chose de commun dans les phénomènes et cela renvoie à l'idée d'une unicité de la nature derrière son désordre apparent. La construction conceptuelle a alors pris deux directions : un langage mathématique a permis de progressivement quantifier les transformations physiques et chimiques dans les convertisseurs, et il y a eu également une stabilisation progressive des mots employés pour nommer les concepts construits : les mots « force », « énergie », « travail », « chaleur » ont par exemple petit à petit été définis dans l'usage spécifique qu'en font les physiciens.

16.1.4.2 Synopsis comparatif de la succession des thèmes abordés

Nous rendons compte ici du synopsis des deux séances A₁ et B₁ par un diagramme qui rend compte des objets de savoir abordés et de leur pourcentage en temps de la séance.

Nous prenons ensuite ce synopsis comme support de notre discussion (les points de comparaison sont indiqués par une double flèche et le numéro de chapitre).



Synopsis comparatif de la succession des objets de savoir abordés lors des séances A₁ et A₂

16.1.4.3 Des éléments génériques à l'enseignement de l'énergie

Nous développons ici deux éléments génériques :

- le lien entre le langage courant et les énoncés scientifiques (16.1.4.3.1) ;
- les énoncés de type grammatical qui sont majoritaires dans les deux séances (16.1.4.3.2).

16.1.4.3.1 Le lien entre le langage courant et les énoncés scientifiques

Tout d'abord, nous avons décrit dans les deux séances comment les enseignants A et B mobilisent les énoncés de langage courant des élèves en début de séance, à des fins de dévolution. Nous pouvons remarquer de plus sur le synopsis comparatif que les deux enseignants y passent environ 20% du temps de la séance : les deux débuts de séance sont donc similaires. Nous interprétons en effet ce passage progressif depuis le langage courant vers le langage scientifique comme une dévolution des jeux à venir, dans le sens où l'usage scientifique de certains mots est en rupture avec leur usage dans le langage courant. Si ce « saut » est nécessaire du point de vue des apprenants, on peut le relier au travail scientifique qui s'est déroulé du 19^{ème} siècle jusqu'au 20^{ème} pour « autonomiser » ces mots du langage courant dont ils sont issus. C'est en ce sens que nous comprenons le travail qui est fait sur le langage courant, il n'est pas encore apprentissage de savoirs scientifiques, mais pourtant il y participe en montrant que la pluralité des acceptions des mots renvoie à des usages différents et l'approche de la physique est une clarification du sens de ces mots dans son propre usage. L'activité scientifique n'est donc pas seulement un travail expérimental ou conceptuel, c'est aussi un travail sur la langue et c'est ainsi que nous interprétons ces deux débuts de séance similaires.

16.1.4.3.2 Des énoncés scientifiques de type grammatical

L'autonomie du langage scientifique construit se caractérise par la structure « grammaticale » de certains énoncés. C'est en ce sens que des phénomènes différents peuvent être décrit de la même façon : les savoirs conceptuels sont des formes de représentation qui rendent descriptibles des phénomènes. « L'énergie se conserve » ou bien « l'énergie a différentes formes » sont par exemple des énoncés grammaticaux qui peuvent être mobilisés pour rendre intelligibles les situations physiques. L'abstraction de ces énoncés s'inscrit donc dans une activité langagière qui les opérationnalise. L'histoire des sciences montre de plus que cette abstraction est consistante à une métaphysique de la *substance* (voir 5.1.4, pp. 63-64). L'enseignement de l'énergie consiste donc à introduire des éléments langagiers, qui ont acquis une autonomie par rapport au langage courant et qui ont un intérêt non pour eux-mêmes mais parce qu'ils rendent possibles de nouvelles descriptions à travers leur structure grammaticale. Ces éléments langagiers sont en outre liés à un substrat métaphysique qui est à l'arrière plan des savoirs. Nous pouvons de plus remarquer que les mêmes objets sont traités dans les deux séances : l'énergie est définie, les formes d'énergie sont abordées, ainsi que la chaîne énergétique et que les objets traités dans la séance A₁ et pas dans la séance B₁ sont abordés dans les séances suivantes par l'enseignante B (principe de conservation de l'énergie, unités, distinction sources/formes d'énergie).

16.1.4.4 Des éléments spécifiques à la pratique de l'enseignant

Nous développons ici trois éléments spécifiques :

- la structure grammaticale des savoirs scientifiques et leur arrière-plan métaphysique : des stratégies différentes mises en œuvre par les deux enseignants (16.1.4.4.1) ;
- une différence de définition pour l'énergie (16.1.4.4.2) ;
- le statut différent de la notion de modèle (16.1.4.4.3) ;

16.1.4.4.1 La structure grammaticale des savoirs scientifiques et leur arrière-plan métaphysique : des stratégies différentes mises en œuvre par les deux enseignants

Nos analyses montrent que les deux enseignants adoptent deux stratégies différentes pour dégager les énoncés d'un substrat métaphysique.

L'enseignant A mobilise une grammaire implicite pour abstraire le concept alors que l'enseignante B explicite le statut des concepts. L'enseignant A construit donc implicitement un rationalisme en passant par différents états épistémologiques (réaliste, empiriste et rationaliste) pour que le saut conceptuel soit « acceptable » pour les apprenants. L'enseignante B exprime la nature épistémologique des objets scientifiques, ce sont des concepts, définis comme « représentation mentale d'une idée abstraite », dont la fonction est de comprendre et qui vise à la construction d'outils. Elle rend donc apparente une syntaxe, qui lie les énoncés entre eux et leur donne un statut opératoire (à travers la notion de concept ou de modèle). De même, nous pouvons observer sur le synopsis comparatif que les savoirs ne sont pas traités dans le même ordre : l'articulation des concepts est différente, la grammaire est donc différente dans les deux séances.

16.1.4.4.2 Une définition différente prise pour l'énergie

Les deux enseignants définissent différemment l'énergie dans les deux séances. Pour l'enseignant A, l'énergie « est une grandeur physique », dont la première propriété est « sa conservation dans un système isolé ». L'enseignante B définit quant à elle l'énergie en mobilisant un autre concept, celui de travail. Il faut noter ici qu'aucun des deux enseignants n'utilisent l'approche préconisée par le programme d'enseignement de sa classe puisque pour l'enseignant A, le programme de 1^{ère} S aborde l'énergie par le travail et que pour l'enseignante B, le programme de 1^{ère} STAV aborde l'énergie par son principe de conservation.

16.1.4.4.3 Le statut différent du modèle de la chaîne énergétique

Nous observons sur le synopsis que dans la séance A₁ l'étude des formes d'énergie précède l'introduction d'un modèle de la chaîne énergétique alors que c'est l'inverse dans la séance B₁. Nous pouvons interpréter cet usage différent par le statut différent accordé à la notion de « modèle » dans les deux séances.

Dans la séance A₁, l'enseignant établit un catalogue des différentes formes d'énergie puis introduit le modèle de la chaîne énergétique pour « simplifier » et « représenter » les transformations d'énergie. Le modèle est ainsi conçu comme un outil d'économie cognitive : « ne pas avoir à faire de longues phrases », « voir d'un seul coup d'œil de quoi il s'agit » (voir 11.3.2.3, p. 195). Autrement dit, après avoir établi successivement et

indépendamment les formes d'énergie, l'enseignant A introduit ici un élément permettant de simplifier l'analyse.

Dans la séance B₁, le modèle est conçu comme un outil heuristique, permettant de produire des énoncés empiriques à partir d'énoncés grammaticaux. Il précède ainsi l'étude des formes d'énergie car c'est justement le modèle grammatical qui va permettre de les énoncer. On a donc dans ce cas une intégration du modèle de la chaîne énergétique dans l'étude des formes d'énergie.

Nous avons donc deux utilisations ici du modèle de la chaîne énergétique, qui renvoie à deux positions épistémologiques : pour l'enseignant A, le modèle est une simplification de ce qui a été dit précédemment (le catalogue de formes d'énergie) ; pour l'enseignante B, le modèle est un outil heuristique d'enrichissement de la connaissance.

16.1.5 Comparaison des analyses de pratique sur les deux séances A₂ et B₂ sur le changement climatique

Nous nous intéressons ici à comparer les deux séances analysées sur le changement climatique, afin de dégager des éléments de compréhension qui seraient propres à son enseignement. Nous rappelons tout d'abord quelques repères historiques et épistémologiques sur le changement climatique (16.1.5.1), puis dégageons des éléments spécifiques à chaque séance (16.1.5.2).

16.1.5.1 Rappels épistémologiques et historiques sur le changement climatique

Nous avons vu dans le chapitre 6 que le climat est un objet scientifique récent, qui résulte à la fois de la volonté politique de disposer d'expertises capables d'aider les prises de décision concernant le développement économique et son impact environnemental, et du développement de nouvelles possibilités instrumentales (observations satellitaires, modélisations numériques, etc.).

L'interpénétration des deux dimensions politique et scientifique a conduit à la création du GIEC : c'est cet organisme qui réalise l'interface entre l'activité scientifique de production de savoirs et l'action politique internationale. Cette structure a en effet pour mission d'élaborer des rapports d'expertise sur l'évolution du climat, qui sont des éléments importants lors des négociations internationales sur le climat.

Le développement du GIEC a structuré très fortement les sciences du climat, au fur et à mesure de la montée en puissance de l'importance politique de ses rapports d'expertise. Les sciences du climat ont alors été légitimées par l'utilisation de nouvelles techniques qui renouvellent la réflexion épistémologique sur l'activité scientifique et sur l'établissement de la preuve. Dans ce contexte, où le temps de l'action politique ne recoupe pas forcément le temps de la recherche scientifique, de nouvelles formes de production de savoirs émergent, où le développement scientifique et technique est mis au service de l'activité politique. Ces formes de production de savoirs sont alors le champ de controverses socioscientifiques.

16.1.5.2 Un élément générique à l'enseignement de/par le changement climatique : des énoncés empiriques majoritaires

Il est intéressant de noter que dans les deux séances A₂ et B₂ les énoncés de type empirique sont majoritaires, car ce sont des discours qui portent majoritairement sur la description de phénomènes, plus que sur les éléments langagiers qui permettent cette description. Nous nous demandons ici si cet élément générique aux deux séances analysées relève d'une propriété plus générale propre à l'enseignement liée à la « science en action », ou bien s'il s'agit là de l'approche particulière des deux enseignants qui s'engagent dans l'action conjointe en faisant manipuler aux élèves ce type d'énoncés.

16.1.5.3 Des éléments spécifiques à la pratique de l'enseignant

Nous développons deux points spécifiques :

- une nature de la science différente dans les deux séances (16.1.5.3.1) ;
- une différence dans la prise en charge de l'incertitude (16.1.5.3.2).

16.1.5.3.1 Les enseignants mettent en oeuvre une dimension différente de la nature de la science

Les deux enseignants mettent chacun en oeuvre une dimension de la nature de la science qui se joue dans le changement climatique.

En effet, l'enseignant A explicite des règles de fonctionnement de la science dans le sens où il explicite en classe des techniques modernes de production de savoirs : l'analyse isotopique des carottes glaciaires et la modélisation numérique sont ainsi mises en avant en tant qu'instruments permettant de construire des énoncés empiriques. L'activité scientifique est par conséquent conçue comme une activité expérimentale, dont la finalité est d'expliquer, comprendre et prévoir l'évolution du climat. L'enseignant développe de plus un modèle de la démarche scientifique qui met en valeur trois pôles de l'activité scientifique : l'observation, la compréhension et l'action, en tant que résultante d'une observation et d'une compréhension. La vision de la preuve scientifique est alors avant tout technique : est preuve ce qui relève d'une technique expérimentale d'observation, qui permet de comprendre puis d'agir.

L'enseignante B met en place une situation qui n'interroge pas l'activité scientifique dans sa dimension technique, mais plutôt dans sa dimension politique : les savoirs scientifiques sont présentés comme des expertises, c'est-à-dire des aides à la prise de décision politique. L'activité scientifique est donc mise en avant dans son lien avec l'action politique : les techniques scientifiques sont alors secondaires, il n'y a pas de preuves indiscutables, mais l'urgence du politique fait qu'il y a une décision à prendre. La construction scientifique est alors moins l'établissement de la preuve qu'une somme d'études visant à argumenter une prise de décision politique.

La « science en action » dans le changement climatique relève effectivement des choix pris par les enseignants : « travail de la preuve » d'un côté, « expertise pour le politique » de l'autre.

16.1.5.3.2 Une prise en charge contrastée de la controverse

L'incertitude liée aux aspects controversés est prise en charge de manière différente par les 2 enseignants.

L'enseignant A considère que la controverse est une contrainte à son projet éducatif dans le sens où les savoirs sont premiers et conditionnent l'action : « en sachant ça on peut ». Le lien établi entre les savoirs et l'action fait qu'une incertitude sur les savoirs freine l'action. Autrement dit, l'enseignant institutionnalise les énoncés « l'activité de l'homme a une conséquence sur le changement climatique » et « les ressources fossiles s'épuisent », en tant qu'ils sont susceptibles de responsabiliser les élèves à la nécessité d'agir. Malgré le souci de l'enseignant d'être le plus neutre possible, notamment par le contrôle qu'il fait des sources des documents proposés aux élèves (issus de GIEC, 2007), il s'engage dans la mesure où il prend une position sur la controverse : elle n'est pas importante car l'enjeu de sensibilisation à l'action est trop important pour laisser de la place à l'incertitude.

L'épistémologie pratique, centrée sur la transmission de savoirs, sur l'éducation par les savoirs, est alors un frein à l'intégration de la dimension controversée.

L'enseignante B considère au contraire que la controverse est un atout à son projet éducatif : elle permet de construire une simulation du travail du citoyen sur l'expertise scientifique. L'incertitude inhérente à la « science en action » est alors mise en avant et si l'enseignante reste neutre en laissant les élèves débattre et ne dévoile pas son propre point de vue sur la question, elle s'engage en prenant une certaine perspective sur la citoyenneté : celle-ci est active et intègre un regard critique sur l'expertise scientifique. L'épistémologie pratique de l'enseignante est alors centrée sur l'activité des élèves, et la controverse sur le changement climatique est avant tout un support à cette activité.

16.1.6 Discussion sur l'épistémologie pratique à partir des différentes comparaisons effectuées : une conclusion

Nous reprenons dans cette partie des différentes comparaisons que nous avons effectuées, les premières ciblées sur l'action conjointe et l'épistémologie pratique (de 16.1.1 à 16.1.3) et les deuxièmes centrées sur les savoirs (16.1.4 et 16.1.5), afin de proposer une intelligibilité du lien entre épistémologie pratique et savoirs (16.1.6.1). Nous concluons alors sur le rôle de l'épistémologie pratique dans l'articulation « science faite » / « science en action » dans la pratique d'un(e) enseignant(e) (16.1.6.2).

16.1.6.1 L'épistémologie pratique : un couplage structurel avec les savoirs

Nous avons vu que l'épistémologie pratique présente des caractères génériques pour chaque enseignant dans les deux séances analysées qui leur permettent un « pilotage » cohérent des deux séances. Autrement dit, il y a des éléments communs à l'épistémologie pratique des deux enseignants qui ne dépendent pas du savoir à enseigner (dans ces deux séances). Ce « fond commun »¹³⁴ assure alors la continuité dans la pratique des enseignants.

Nous avons vu également qu'il existe des spécificités propres à chaque séance et qui dépendent par conséquent des savoirs à enseigner.

¹³⁴ Voir le tableau synoptique, p. 366 pour le détail de ce « fond commun » pour chaque enseignant.

Dans le cas de l'énergie, pris comme exemple de « science faite », il n'existe pas d'ambiguïté sur les savoirs à enseigner puisque les mêmes savoirs sont enseignés. Nous avons vu également que certains éléments liés à l'histoire ou à l'épistémologie (donc à la construction de ces énoncés, en tant que processus historique) contraignent la manière d'aborder certains énoncés (le rapport au langage courant, le fond métaphysique du concept d'énergie par exemple). Toutefois, chaque enseignant articule différemment les énoncés entre eux et en cela la grammaire des jeux de langage est différente d'un enseignant à l'autre. Cette grammaire est donc à la fois contrainte par le savoir à enseigner et par l'épistémologie pratique de l'enseignant. L'épistémologie pratique de l'enseignant détermine la grammaire des jeux de langage dans lesquels vont se construire les énoncés scientifiques dans le même temps où les savoirs contraignent cette grammaire : il y a comme un *couplage structurel* (Varela, Thompson & Rosch, 1993) entre l'épistémologie pratique de l'enseignant et les savoirs.

Nous pouvons mobiliser ce couplage structurel de la même façon pour comprendre les actions conjointes des séances sur le changement climatique.

En effet, pour l'enseignant A, les savoirs sont premiers, son épistémologie pratique le conduit à « sélectionner » dans le changement climatique un savoir stabilisé, autour duquel il fonde son action : celui-ci est alors assuré par la position qui lui correspond comme étant « la plus neutre possible », en l'occurrence la position dominante dans la controverse (celle du GIEC). Puisqu'il enseigne de la même façon énoncés grammaticaux et empiriques, les énoncés empiriques participant à prouver que le changement climatique est d'origine anthropique vont jouer le même rôle que les énoncés grammaticaux des savoirs stabilisés de la séance sur l'énergie. Son épistémologie pratique stabilise alors son action : la théorie implicite de l'enseignement / apprentissage est « transmissive » et porte sur des énoncés empiriques, une théorie implicite de l'éducation qui fait des énoncés empiriques les savoirs « éducateurs », une théorie implicite des savoirs scientifiques selon laquelle la science explique le monde, avec des spécificités liées aux savoirs à enseigner (la science en tant que mise en œuvre de techniques, etc.). Le savoir à enseigner contraint donc ici l'épistémologie pratique en donnant à voir une nature de la science technique, ainsi que des aspects épistémologiques (nature de la démarche scientifique, modélisation).

Nous interprétons de la même façon l'épistémologie pratique mise en œuvre par l'enseignante B dans la séance sur le changement climatique. Son épistémologie pratique centrée sur l'activité des élèves la conduit à sélectionner dans le changement climatique la possibilité de mettre les élèves en situation de développer une pensée « critique », en étant en contact avec la science conçue comme une activité sociale et politique, en l'occurrence l'expertise scientifique pour l'aide à la prise de décision politique.

L'épistémologie pratique de l'enseignante B et l'objet de savoir « changement climatique » vont se coupler de façon à ce que leur structure mutuelle s'adapte : la théorie implicite de l'enseignement / apprentissage est socioconstructiviste et les énoncés sont majoritairement de type empirique, une théorie implicite des savoirs scientifiques, selon laquelle ces savoirs sont socialement construits et en lien avec les choix politiques, une théorie de l'éducation selon laquelle l'enseignement de la physique vise ici au développement de la pensée critique des élèves vus comme futurs citoyens.

16.1.6.2 Rôle de l'épistémologie pratique dans l'explicitation des freins / leviers qui permettrait une articulation de savoirs liés à la « science en action » et à la « science faite » dans la pratique d'un enseignant

Ce couplage structurel entre les savoirs et l'épistémologie pratique, associé à un « fond commun » d'épistémologie pratique propre à chaque enseignant conduit à envisager une profonde continuité dans les pratiques. En effet, dans un savoir controversé, une épistémologie pratique pourra toujours puiser des éléments de certitude dans son approche d'un savoir, de même que dans un savoir stabilisé, il existe certainement des épistémologies pratiques capables de rendre vif certains aspects d'un savoir. Autrement dit, la question de l'articulation de savoirs liés à la « science en action » et à la « science faite » dans la pratique d'un enseignant peut se formuler comme la recherche de configurations d'épistémologies pratiques couplées à une dimension complexe des sciences (dont la nature sociale ou politique est une dimension). Ces configurations ne sont pas uniquement le fait d'un enseignement d'une controverse socioscientifique mais, par continuité, déterminent également des pratiques de « science faite ».

Quels freins et leviers pouvons-nous identifier dans le périmètre de nos études de cas ? Tout d'abord, il semble que l'épistémologie pratique de l'enseignante B favorise l'enseignement d'une vision complexe et sociale des sciences. En ce sens, une épistémologie pratique centrée sur l'activité des élèves, fondée sur une théorie de l'enseignement/apprentissage variée et socioconstructiviste, une théorie sociale des savoirs scientifiques semble favoriser cet enseignement. Pour l'enseignant A, il semble que la controverse fait frein : l'absence de savoirs ou leur incertitude le conduit à s'appuyer sur l'autorité (GIEC) et les valeurs auxquelles ils adhèrent.

16.2 Discussion des résultats : une approche critique

Nous essayons dans cette partie de prendre du recul sur notre travail.

Nous discutons tout d'abord l'intérêt des analyses de pratiques pour documenter aussi les processus d'apprentissage des élèves. Nous avons focalisé sur le rôle de l'enseignant dans l'action conjointe, toutefois nos analyses de l'action conjointe nous donnent également des informations sur l'action des élèves. Nous relevons ici quelques pistes de réflexion, en lien avec d'autres études de didactique (sur les conceptions), fondées sur des cadres théoriques, épistémologiques et méthodologiques différents (16.2.1).

Nous abordons ensuite ce que notre recherche apporte dans le champ des recherches sur l'enseignement des controverses socioscientifiques (16.2.2). Nous développons alors l'intérêt principal de notre étude : la description de pratiques d'enseignement de/par les controverses socioscientifiques, qui conduit à envisager le rôle de l'enseignant d'un point de vue dynamique, alors que les précédentes études fondées sur des questionnaires et entretiens modélisaient la place de l'enseignant de façon indirecte et statique.

Notre recherche documente également l'enseignement de l'énergie, sous l'angle de l'action de l'enseignant. Nous discutons alors succinctement l'intérêt qu'il y a à combiner des études

historiques et épistémologiques des savoirs à enseigner pour comprendre la pratique enseignante (16.2.3).

Nous revenons ensuite sur la méthodologie utilisée pour rendre compte des limites de notre étude, notamment dans la difficulté à opérationnaliser des outils théoriques et dans la distance entre ce que nous « voyons » des pratiques et leur insondable complexité (16.2.4).

Nous développons finalement les apports que nous estimons apporter d'un point de vue théorique : la dimension éducative de l'épistémologie pratique, ainsi que l'apport des outils de Wittgenstein pour l'analyse du langage (distinction énoncés de type grammatical / empirique, jeux de langage) (16.2.5).

16.2.1 Un travail centré sur le rôle de l'enseignant dans l'action conjointe... mais des pistes de réflexion sur l'apprentissage des élèves

Notre travail s'est focalisé sur le rôle de l'enseignant dans l'action conjointe, toutefois, à partir du moment où nous recueillons et analysons les jeux de langage dans la classe, nous avons également accès à des éléments qui concernent le volet « apprentissage » des élèves. Nous développons donc ici brièvement l'intérêt qu'a l'analyse de pratiques pour examiner *autrement* des résultats bien connus de didactique, liés à l'étude des conceptions.

Nous discuterons ici d'éléments de l'action conjointe que nous avons relevés dans les séances analysées et qui concernent l'étude de l'effet de serre (16.2.1.1), le rôle de la couche d'ozone dans le changement climatique (16.2.1.2) et l'énergie (16.2.1.3).

16.2.1.1 Action conjointe et situation d'apprentissage sur l'effet de serre

Nous avons décrit dans le chapitre 12 (12.3.3.2, p. 250) la construction conjointe d'une explication de l'effet de serre à travers un raisonnement causal-linéaire, qui conduit à modéliser l'effet de serre dans un régime transitoire. Nous avons interprété la place importante jouée par le raisonnement causal-linéaire dans le développement de l'action en classe en le subordonnant au jeu de langage joué conjointement par l'enseignant et les élèves, qui est celui de l'explication. L'analyse montre également l'importance de certains éléments pour structurer le raisonnement, notamment la grande diversité des termes utilisés par l'enseignant et les élèves pour décrire le comportement de la lumière face à un obstacle matériel (réflexion, réfraction, diffusion, émission, absorption).

La description que nous faisons est cohérente avec celle développée dans les études de Viennot (1996)¹³⁵ sur les conceptions, à la différence que l'analyse de l'action conjointe permet de décrire un processus en classe, partagé entre différents acteurs, alors que la méthodologie habituellement utilisée pour l'étude des conceptions (questionnaire, entretiens) fournit un résultat statique individuel. De plus, là où l'étude des conceptions fait de l'élève ou de l'enseignant une « entité épistémique », l'analyse de l'action conjointe les place comme des sujets-acteurs d'une situation complexe.

¹³⁵ Voir la présentation 6.4.1.3, p. 87.

16.2.1.2 Les conceptions sur la couche d'ozone et le changement climatique

Lors de notre analyse des jeux de langage, nous avons relevé que les élèves abordent, dans les deux séances filmées sur le climat, le rôle de la couche d'ozone dans le réchauffement climatique¹³⁶ : pour certains élèves, la couche d'ozone est détruite par les émissions de CO₂ et laisse donc passer davantage de rayons lumineux, ce qui conduit à une augmentation de la température moyenne sur Terre. Nous pouvons interpréter ce raisonnement comme la collusion de deux jeux de langage : le CO₂ a une action sur l'atmosphère et certains gaz dus à l'activité humaine détruisent la couche d'ozone. Ces prémisses sont cependant absentes du jeu de langage joué donc on peut faire l'hypothèse qu'ici ce sont deux jeux de langage « médiatisés » qui se télescopent, car on peut également faire l'hypothèse que l'introduction dans le milieu de la couche d'ozone provient d'un discours autant médiatique que scolaire. Ce raisonnement sur le rôle supposé de la couche d'ozone dans le réchauffement climatique est répertorié dans les études sur les conceptions (voir 6.4.1.2, p. 87). Nous retrouvons donc un résultat identique à ces études, toutefois, nos analyses conduisent à en décrire deux écologies possibles en classe : dans la séance A₂, l'enseignant corrige le raisonnement construit par certains élèves ([T 959-983], annexes, pp. 205-207) alors que dans la séance B₂, celle-ci apparaît dans les échanges entre élèves lors du débat sans que l'enseignante n'intervienne ([T 361-362], annexes, p. 364). L'intérêt de l'analyse de l'action conjointe est ici d'éclairer et de compléter des résultats sur l'apprentissage des élèves établis dans d'autres cadres théoriques et méthodologiques.

16.2.1.3 Les conceptions sur l'énergie

Lors de notre analyse des jeux de langage, nous avons également relevé que les élèves associent l'énergie à « force » ou bien l'assimilent à une « source d'énergie » : énergie hydraulique, vent, lumière, hydrocarbures, biocarburants, solaire, charbon (séance A₁ : voir 11.3.1, p. 188 ; séance B₁ : voir 13.3.1, p. 290). Comme dans le cas de l'effet de serre, les conditions d'énonciation nous apparaissent ici particulièrement importantes : dans l'effet de serre, il y a une volonté d'expliquer qui facilite le raisonnement causal linéaire, dans l'énergie, il s'agit de la mobilisation d'énoncés qui correspondent plutôt à des usages du langage courant. Dans les deux cas, nous pouvons interpréter les réponses des élèves comme produites dans le jeu de langage joué. Ici aussi, les recherches sur les conceptions sont documentées et nos analyses sont cohérentes avec ces résultats¹³⁷. L'intérêt du cadre de l'action conjointe, c'est qu'il permet d'étudier les conditions de mobilisation de ces énoncés en classe. A ce titre, l'analyse de pratiques permet de compléter et prolonger des études sur l'apprentissage des élèves.

¹³⁶ Voir les annexes. Pour la séance A₂ : 2.3.5, pp. 148-149 ; pour la séance B₂ : 4.4, p. 364 [T 361-362].

¹³⁷ Voir 5.3.1, p. 67.

16.2.2 L'analyse des pratiques des enseignants : un apport dans le champ des controverses socioscientifiques

Nous inscrivons ici les résultats de notre recherche dans les études antérieures sur l'enseignement de / par les controverses socioscientifiques en montrant qu'elles complètent les quelques études qui concernent les logiques d'engagement des enseignants (16.2.2.1) et l'action de l'enseignant en classe (16.2.2.2).

16.2.2.1 Les pratiques enseignantes peu étudiées

Nous avons relevé lors du chapitre 3 (3.2, p. 43) que la majorité des études sur l'enseignement de / par les controverses socioscientifiques était fondée à partir de questionnaires et d'entretiens, portant principalement sur la perception qu'ont les enseignants de l'enseignement des controverses socioscientifiques et sur les modalités de leur engagement à traiter ces questions.

Notre étude conduit donc à éclairer un domaine encore peu exploré, celui de la description et de l'analyse des pratiques effectives des enseignants.

Nous questionnons ici notre travail au regard des résultats existants.

Tout d'abord, Urgelli (2009) a identifié 3 logiques d'engagement, à partir d'entretiens d'enseignants de différentes disciplines et en utilisant le modèle de Kelly (1986), qui dépendent du sens que l'enseignant donne son action. En effet, il associe :

- volonté d'éduquer à la citoyenneté et posture d' « impartialité » (cas 1) ;
- volonté d'enseigner des concepts scientifiques et posture de « neutralité exclusive » (cas 2) ;
- volonté d'éduquer au développement durable et de transformer les comportements et posture de « partialité exclusive » (cas 3) ;

Nos analyses de l'action sont cohérentes avec l'association entre volonté d'éduquer ou d'enseigner et posture. En effet, la visée éducative de l'enseignante B dans la séance sur le changement climatique concerne l'éducation à la citoyenneté des élèves et la posture qu'elle adopte est l'impartialité (cas 1). Toutefois, alors que Urgelli (2009) qualifie l'impartialité de « neutre » ou d' « engagée » suivant la propre position de l'enseignant sur la controverse, nous estimons que dans le cas de l'enseignante B, l'engagement tient davantage à son objectif éducatif qu'à ce qu'elle estime être valide dans la controverse.

De même, nous avons vu dans notre étude de la pratique de l'enseignant A, que celui-ci change de posture au cours de la séance : sa neutralité exclusive, exprimée dans l'entretien ante et actualisée dans son action, devient en fin de séance une partialité exclusive. L'action de l'enseignant A est donc un mélange entre les cas 2 et 3 d'Urgelli (2009) : la neutralité exclusive est portée par une certaine volonté d'enseigner des savoirs scientifiques et c'est justement à ces derniers qu'il attribue une vertu éducative. Sa volonté de responsabiliser les élèves peut alors être liée à ce que Urgelli (2009) appelle la volonté de transformer les comportements.

Il y a donc une cohérence avec nos analyses sur l'action et les travaux d'Urgelli (2009) sur les logiques d'engagement. L'analyse des pratiques approfondit par conséquent ces résultats en décrivant les chemins que peut prendre l'engagement dans l'action. Notre travail prolonge également ces travaux car nous avons montré que les « postures » ne sont pas des caractéristiques statiques des enseignants mais qu'elles ont un caractère dynamique puisque nous avons vu que dans l'action l'enseignant peut adopter des postures différentes. Cette

dynamique n'est pas accessible par une catégorisation à partir d'entretiens ou de questionnaires : elle devient par contre descriptible par l'analyse des pratiques enseignantes. Le modèle théorique de Kelly (1989), que nous avons utilisé à la suite d'Urgelli (2009) et de Simonneaux (2006), comme modèle pour caractériser la posture de l'enseignant face à une controverse socioscientifique, a l'avantage de proposer une caractérisation de cette posture mais il n'intègre pas l'action conjointe puisque seul le lien entre l'enseignant et la controverse est modélisé. Nous avons vu que dans le cas de l'enseignant A, ce lien change dans l'action. Il conviendrait donc de perfectionner ce modèle statique en y intégrant des éléments dynamiques tels que les trajectoires possibles que peut prendre la posture. Nous pouvons en effet, à partir de nos études de cas, faire l'hypothèse qu'il existe des configurations de ces trajectoires, déterminées par la forme que prend l'action conjointe. Notre étude est bien évidemment trop limitée pour proposer un nouveau modèle, mais il nous semble qu'elle montre qu'il y a un intérêt à poursuivre les analyses des pratiques dans ce sens.

16.2.2.2 L'épistémologie pratique en tant que déterminant de l'action enseignante

Nous estimons que dans ce cadre l'étude de l'épistémologie pratique de l'enseignant contribue à mieux comprendre ce qui se joue lors de l'enseignement de/par une controverse socioscientifique. En effet, si les recherches ont montré que des contraintes s'exercent sur l'enseignant en amont de la classe, nous avons montré dans les deux cas étudiés que des contraintes s'exercent également in situ à l'enseignement d'une controverse. En ce sens, notre travail complète l'étude de Levinson (2004) qui montre que l'action de l'enseignante lors d'une séance sur la bioéthique fragilise les formes dialogiques de communication dans le milieu. Nous avons en effet montré dans nos deux études de cas les liens complexes qui unissent l'action conjointe et les formes de communication, et les descriptions que nous avons faites donnent à voir deux pratiques très différentes, pour une consigne identique. L'épistémologie pratique nous a permis de modéliser l'action d'un enseignant et d'une enseignante en mobilisant trois dimensions : les théories plus ou moins implicites de l'enseignement/apprentissage, sur les savoirs scientifiques et la science, et l'éducation. La description de l'intrication de ces trois dimensions nous a permis d'avoir des éléments de compréhension des pratiques. Nous avons également montré que dans nos études de cas, cette épistémologie pratique est continue dans la pratique et qu'envisager l'intégration des controverses socioscientifiques dans l'enseignement scolaire est une question corrélée aux changements de pratiques sur des savoirs de « science faite ».

16.2.3 L'analyse des pratiques des enseignants : un apport dans le champ de l'enseignement de l'énergie

Nous avons vu dans le chapitre 5 (voir 5.3.3, p. 71) que les analyses de pratiques sur des situations d'enseignement / apprentissage liées à l'énergie sont peu nombreuses. L'étude de Seck (2007) porte sur le lien entre les pratiques de classe (décrite à différentes échelles et sur plusieurs séances) et l'apprentissage des élèves et propose une méthode d'utilisation du logiciel Transana. Notre étude a donc le mérite de documenter ce domaine encore peu exploré, en portant l'attention sur la séance introductive à l'étude de l'énergie, sur des programmes différents et en focalisant sur le rôle de l'enseignant dans l'action conjointe. Nous avons également utilisé le logiciel Transana, mais d'une manière différente que Seck

(2007), car les cadres théoriques ne sont pas complètement identiques et les problématiques différentes. De plus amples recherches sont nécessaires pour pouvoir discuter les résultats entre eux, notamment dans l'harmonisation de l'utilisation de Transana (par exemple : dans les critères de découpage des thèmes, jeux et épisodes dont les fondements théoriques doivent être plus affirmés ; dans une définition opérationnelle plus précise des mots-clés).

Nous avons essayé d'intégrer à nos analyses de pratiques de classe sur l'énergie une dimension historique et épistémologique. Nous estimons que notre démarche a l'intérêt d'inscrire les pratiques, non seulement dans des institutions (scolaire, la physique en tant que discipline, etc.), mais aussi dans l'histoire de ces institutions. L'idée qui nous a animée est que si l'enseignement de l'énergie est un enseignement de « science faite », la forme « finie » que le concept a acquise est tributaire à la fois du travail effectué à une certaine époque par la communauté savante et d'un travail de transposition didactique lui aussi temporellement marqué. Autrement dit, en suivant cette hypothèse, il est nécessaire d'approfondir l'histoire des idées, croisée à l'histoire des systèmes d'enseignement pour dégager des éléments de compréhension des pratiques.

16.2.4 Un regard critique sur la méthodologie utilisée

Nous abordons ici le processus de construction de données et tentons de prendre un regard critique sur la démarche que nous avons adoptée. Nous commençons par faire part de nos difficultés à opérationnaliser nos outils théoriques (16.2.4.1), puis soulevons quelques limites de notre grille d'analyse (16.2.4.2).

16.2.4.1 Une difficulté de chercheur : la transposition d'outils conceptuels en outils opératoires

La TACD offre un bagage d'outils conceptuels très intéressants pour décrire les pratiques enseignantes. En effet, le triplet de genèses, associé au quadruplet de techniques, nous apparaît bien fondé d'un point de vue théorique, par les nombreux résultats de recherche qui participent à leur construction et par le solide ancrage dans les SHS. De même, l'approche communicationnelle de Scott et Mortimer a été utilisée avec profit dans plusieurs recherches. Toutefois, notre effort de recherche, en incorporant ces outils conceptuels à notre grille d'analyse, nous a montré que le « réel » était bien trop complexe pour se laisser prendre facilement dans les filets théoriques. En effet, si la majorité des épisodes ont été codés sans difficultés sur Transana en utilisant nos outils théoriques, certains épisodes ont résisté à une interprétation « stable » dans les termes de la théorie. Certains codages ont été en ce sens complexes à arbitrer et participent à l'incertitude inhérente à notre étude. De même, certains mots-clés ont un grain trop important pour distinguer les nuances des situations à décrire.

De ce point de vue, nous estimons que l'approche communicationnelle (dans la distinction dialogique/autoritative) et la description des formes d'organisation sociale de la classe complètent bien la description de la topogénèse, en permettant d'aborder son étude sous plusieurs angles. La description de la mésogénèse nous laisse cependant plus critique. Les mots-clés qui ont servi à notre codage sur Transana nous ont permis de discriminer des éléments relatifs aux gestes de régulation de l'enseignant, mais de nombreux points ont échappé à notre grille (le plus important étant ce qui concerne l'analyse du support de travail des élèves : documents, objets matériels ou conceptuels). De même, le codage concernant la chronogénèse en « arrêtée », « lente » et « accélérée » a été largement empirique et nous avons buté sur des critères stables permettant de nous assurer de la catégorisation effectuée.

Nous estimons que ces difficultés sont compréhensibles à deux niveaux : la construction de notre posture de chercheur, qui finalement ne s’empare des concepts qu’en les utilisant sur des cas concrets¹³⁸, mais aussi la nécessité de poursuivre des recherches pour affiner notre compréhension des concepts par davantage d’études empiriques qui les mettent à l’épreuve.

16.2.4.2 Le « réel » est complexe : une grille par essence incomplète

Nous avons également conscience que de nombreux phénomènes didactiques sont passés entre les mailles de notre filet théorique et donc que de nombreuses dynamiques nous échappent.

Nous développons ici deux éléments en ce sens.

Tout d’abord, nous avons mentionné dans nos quatre analyses les échelles de temps que pouvait prendre la dévolution, car des jeux intégraient des éléments passés ou bien servaient à introduire implicitement des jeux ou des savoirs futurs. Nous n’avons pas codé ces épisodes dévolutifs en tant que dévolution car notre logique de codage était « microscopique » dans le sens où nous codions des éléments internes aux jeux joués (les épisodes). C’est donc qu’ici notre codage de la dévolution ne décrivait qu’imparfaitement les différentes modalités que peut prendre le processus de dévolution. Ceci est une conséquence du choix que nous avons fait de coder à l’échelle d’épisodes fins. Il aurait été sans doute intéressant, de coder ces séances à différentes échelles : trois codages successifs à l’échelle du thème, du jeu et des épisodes pour rendre davantage compte des différentes échelles auxquelles se passent les phénomènes. Nous avons soulevé ce point indépendamment du codage, par l’analyse des jeux de langage, mais nous sommes conscients que d’autres descripteurs se jouent également à différentes échelles de temps et nécessiteraient un codage multiple.

D’autre part, nous avons utilisé la vidéo comme une source de son « améliorée » afin d’identifier précisément les acteurs, et le film nous a permis de coder l’organisation sociale du travail en classe et l’évolution des traces écrites au tableau.

Cette utilisation de l’image est par conséquent très réduite par rapport à l’usage que l’on pourrait en faire. Un élément que nous avons relevé dans trois analyses sur les quatre (sauf le jeu de rôle B₂) relève de la réaction qu’ont les élèves au retour que fait l’enseignant à leur intervention : il y a là toute une mise en scène de la gratification, qui passe à l’image et dont nous pouvons soupçonner une « logique » (de jeux de communication verbaux ou non entre élèves). Bien évidemment, nous ne nous sommes pas intéressés à analyser cette simple observation, mais elle relève à la fois la complexité de la situation, où des dynamiques multiples se superposent et se combinent certainement, la sous-utilisation que nous avons fait de la vidéo, et le potentiel qu’il y aurait à analyser les images couplées au son. Il y a là, nous semble-t-il, une grande richesse pour la didactique et une limite inévitable de notre propre étude.

¹³⁸ Nous retrouvons ici une caractéristique chère à Wittgenstein de l’apprentissage d’un langage: nous apprenons par l’usage.

16.2.5 Un regard critique sur les modifications apportées aux cadres théoriques utilisés

16.2.5.1 la théorie implicite de l'éducation en tant que dimension de l'épistémologie pratique et la question des valeurs

Nous avons ajouté une dimension éducative à l'épistémologie pratique, et si nous estimons qu'elle est intéressante pour mieux comprendre l'épistémologie pratique de l'enseignant (16.2.5.1.1), elle nous pose des questions sur le lien que nous avons établi entre valeurs et théorie implicite de l'éducation (16.2.5.1.2) et sur sa liaison avec les autres dimensions de l'épistémologie pratique (16.2.5.1.3).

16.2.5.1.1 Intérêt de la dimension éducative pour modéliser l'épistémologie pratique

Il nous a semblé en effet important de mobiliser la visée éducative que les enseignants ont pour comprendre leur action en classe dans les séances analysées. Nous avons vu que cette visée renvoie au sens que les enseignants accordent à leur action du point de vue des finalités de leur enseignement. Les expressions « responsabiliser les élèves », « développer l'esprit critique », « ouverture d'esprit » renvoient effectivement à des objectifs qui ne sont pas seulement liés à l'apprentissage de savoirs scientifiques mais aussi à une perspective éducative, dans le sens où les savoirs sont alors des moyens visant un développement humain. Cet arrière-plan éducatif nous a permis de donner de la compréhension à l'action des deux enseignants que nous avons suivis et nous l'avons par conséquent intégré à notre description de l'épistémologie pratique.

16.2.5.1.2 Le lien entre théorie de l'éducation et valeurs : une question complexe

Nous discutons ici les qualificatifs que nous avons utilisés sans précaution lors de notre travail. Nous écrivons quelquefois « théorie implicite de l'éducation » et à d'autres moments nous utilisons le terme « valeurs éducatives ».

Cette différence dans les termes nous questionne à plusieurs titres : tout d'abord sur la mobilisation du terme « valeur », puis sur l'intégration à une épistémologie pratique théoriquement fondée sur les théories plus ou moins implicites.

Le mot « valeur » a une place centrale dans de nombreuses études sur des QSV, mais il reste en grande partie « insaisissable » à nos yeux. Nous avons utilisé par exemple ce terme au pluriel, mais sans définir ni le mot valeur, ni la pluralité que le pluriel exprimerait.

Nous nous permettons donc de problématiser « les valeurs éducatives ».

Historiquement, le mot « valeur » s'est dit pour « ce qui a de l'importance »¹³⁹. Nous pouvons considérer qu'il y a en quelque sorte une tension entre les savoirs scientifiques, qui relèvent culturellement de « ce qui est vrai », et leurs finalités pour l'éducation de l'élève, qui relèverait plutôt de « ce qui est bien que l'élève sache ». Si les savoirs sont prescrits par les programmes et leur « véracité » est transposée du champ savant, la légitimation de « ce qui est

¹³⁹ *Dictionnaire historique de la langue française* (2000). Paris : Le Robert, p. 3992.

bien » pour les élèves est du ressort le plus souvent d'un choix individuel de l'enseignant. Ainsi, si « ce qui est vrai » est l'énergie cinétique, « ce qui est bien que l'élève sache » est la mobilisation de ce savoir dans le cadre de la sécurité routière, pour l'enseignant A.

Cette tension entre le « vrai » et le « bien » est un paradoxe à résoudre pour l'enseignant, car il n'y a pas de lien logique simple et unilatéral entre un savoir et sa valeur éducative (ce n'est pas parce qu'un savoir est vrai que le savoir conduit à un bon comportement) et peut-être peut-on dire en ce sens que la théorie implicite de l'éducation est une théorie du lien entre un savoir et sa valeur ?

16.2.5.1.3 Valeurs éducatives et épistémologie pratique : quelles relations ?

Nous avons choisi dans les analyses faites de considérer que les valeurs éducatives sont un élément de l'épistémologie pratique. En ce sens, l'épistémologie pratique est considérée comme « un tout » et chacune des dimensions ne peut être étudiée que dans ses relations avec les autres. Autrement dit, notre position fait que les valeurs ne sont compréhensibles qu'en tant qu'elles sont conditionnées par le tout auquel elles appartiennent (l'épistémologie pratique). L'introduction de valeurs dans un tout dont les différentes dimensions sont des théories invite à considérer davantage la dimension *affective* de ces théories. Nous manquons d'outils conceptuels pour développer plus loin notre réflexion, mais nous estimons qu'il y a là matière à poursuivre des études empiriques pour mieux comprendre les liens entre les diverses dimensions de l'épistémologie pratique, en conservant leur complexité.

16.2.5.2 la distinction énoncés grammaticaux / empiriques en tant que descripteurs de la mésogénèse et de la chronogénèse

Nous avons complété notre description de la mésogénèse et de la chronogénèse en suivant Wittgenstein dans la distinction qu'il fait entre les « propositions grammaticales » et les « propositions empiriques ». Nous discutons de l'intérêt d'utiliser cette distinction pour compléter le cadre de la TACD (2.4.2.1) et explicitons quelques limites de cette distinction.

16.2.5.2.1 Intérêt de la distinction pour comparer des séances portant sur des savoirs scientifiques différents

Nous estimons que la distinction que nous avons faites entre « énoncés grammaticaux » et « énoncés empiriques » est pertinente, dans la mesure où elle nous a permis de décrire dans un même cadre des éléments qui normalement sont hétérogènes. En effet, les savoirs liés à l'énergie sont des éléments qui donnent des règles de description de phénomènes physiques et en ce sens ils constituent des énoncés grammaticaux, car ils incluent à leur définition les règles de leur utilisation. De la même manière, les énoncés épistémologiques sur le concept ou le modèle sont des éléments langagiers qui constituent des règles d'usage des savoirs scientifiques. Les règles d'écriture des expertises scientifiques ou des énoncés décrivant le fonctionnement de la communauté scientifique sont également des éléments permettant la représentation et la description du jeu de langage qui est joué (celui de l'expertise par exemple). Nous estimons que ces différents énoncés qui relèvent des savoirs scientifiques, épistémologiques ou sociologiques (des sciences) peuvent être intégrés dans une forme unifiée de description, en se fondant sur la fonction des énoncés au sein du jeu de langage qui

est joué. La distinction entre énoncés grammaticaux et empiriques peut contribuer à donner au chercheur les moyens méthodologiques d'une analyse comparative sur des savoirs hétérogènes.

16.2.5.2.2 La complexité de la pensée grammaticale de Wittgenstein

Cependant, nous nous demandons dans quelle mesure notre utilisation de la réflexion de Wittgenstein dénature son propos initial. En effet, sa réflexion sur le langage et la méthode qu'il construit est circonscrite à la recherche philosophique sur le langage courant et sur son ambition de débusquer les « faux » problèmes philosophiques qui seraient liés à la non reconnaissance du fonctionnement des « règles du langage ». De la même manière, nous ne sommes pas spécialiste de la philosophie, il est donc possible que les limites de notre travail tiennent à des difficultés d'appréhender la réflexion de Wittgenstein et des concepts en jeu.

De la même façon, Wittgenstein utilise le terme « grammaire » de manière souple. Sa méthode consiste justement à éviter de chercher des définitions strictes à ces concepts pour mieux en décrire les différents usages.

Nous sommes gênés par deux usages que nous avons faits de la notion de grammaire. La première est liée à la notion d' « énoncés grammaticaux » qui sont des propositions qui participent à la définition d'une forme de description. Nous avons eu des difficultés de codage pour certains épisodes (voir 16.2.3.1) mais Wittgenstein soutient qu'il est quelquefois difficile de distinguer « énoncés grammaticaux » et « empiriques », et qu'il n'existe pas de critères linguistiques permettant de distinguer les deux (Glock, p. 281). De même, certains énoncés sont grammaticaux dans un certain jeu de langage et empiriques dans un autre. Deuxièmement, nous avons souvent utilisé l'expression de grammaire pour décrire les relations logiques qu'un énoncé entretient avec d'autres énoncés, c'est-à-dire la manière dont il est utilisé dans son lien avec les autres énoncés de même type (Wittgenstein parle aussi de système grammatical). Il y a donc ici au moins deux « strates » grammaticales, une première imposée par les énoncés grammaticaux, qui relève de l'usage scientifique de l'énoncé (la définition du concept d'énergie par exemple), et la deuxième qui tient de l'articulation des énoncés scientifiques entre eux et qui tient de l'épistémologie ou de la sociologie des sciences.

Nous sommes ici limités dans notre compréhension de Wittgenstein pour décrire plus amplement les différences, toutefois, nous retenons sa phrase : « ne cherchez pas la signification, cherchez l'usage ! ». Nous estimons que c'est un bon conseil et qu'il nous faut par conséquent poursuivre des descriptions pour mieux comprendre l'usage que nous en faisons.

16.2.5.3 L'analyse des jeux de langage

Nous avons repris des travaux de Wittgenstein la notion de jeux de langage afin de prendre en compte le contexte d'énonciation des énoncés dans l'analyse de l'action conjointe. Nous avons utilisé cette notion de manière « souple », en suivant les propos de Wittgenstein : « nous sommes incapables de circonscrire clairement les concepts que nous utilisons, non pas que nous n'en savons pas la définition réelle, mais parce qu'ils n'ont pas de « définition » réelle » (Wittgenstein, *Cahier bleu*, cité par Schulte, 1992). L'intérêt que nous avons trouvé à utiliser la notion de jeu de langage tient à la place centrale attribuée à la notion de grammaire, c'est-à-dire à l'idée que la signification des énoncés tient à leur fonction dans un jeu de langage, qui est régi par des règles de grammaire. Autrement dit, comprendre la signification d'un énoncé, c'est examiner les règles de grammaire dans laquelle l'énoncé se dit. Nous

avons alors essayé de remonter à la grammaire de ce qui est dit dans les séances en analysant et interprétant l'usage qui est fait des énoncés. Il nous semble que l'analyse des jeux de langage est compatible à la fois avec la TACD (voir 8.3.2, p. 125) et avec la démarche clinique / expérimentale (voir 10.1.1, p. 133), car cette dernière nécessite le croisement de diverses traces (analyses historiques et épistémologiques des savoirs, entretiens) pour interpréter la fonction des énoncés dans les jeux joués. Nous avons vu également (voir 16.2.1, p. 376) que cette analyse pouvait compléter d'autres méthodologies.

17. Conclusion

Nous concluons ici notre travail en reprenant tout d'abord les résultats principaux de notre étude (17.1), puis nous présentons les perspectives de recherche que nous souhaitons développer à l'avenir pour poursuivre notre réflexion (17.2).

17.1 Rappels des principaux résultats

Nous estimons que le principal intérêt de notre travail de thèse consiste en la description de pratiques effectives d'enseignants de physique-chimie dans deux domaines peu explorés : l'enseignement de l'énergie et d'une controverse socioscientifique, ici le changement climatique.

Nous avons de plus montré que l'analyse de pratiques est intéressante car elle conduit à envisager l'épistémologie de l'enseignant de façon dynamique dans la pratique, là où les études par questionnaires ou entretiens catégorisent statiquement les postures de l'enseignant (qu'elles soient épistémologiques ou bien qu'elles réfèrent à l'expression de ces valeurs sur une controverse).

Nous pensons de plus que notre travail apporte des éléments méthodologiques et théoriques qui permettent d'enrichir la théorie de l'action conjointe en didactique, centrale dans nos analyses. En effet, l'analyse des jeux de langage nous a permis de caractériser les savoirs à travers les interactions verbales entre les différents acteurs du milieu didactique. De même, l'épistémologie pratique de l'enseignant a été développée, d'une part par les résultats des travaux sur la NOS et par la dimension éducative que nous avons essayé de décrire dans nos études de cas.

Nous avons également montré dans nos études de cas qu'il y a des éléments spécifiques et génériques dans l'épistémologie pratique des deux enseignants. Nous avons alors interprété ces éléments comme un couplage entre leur épistémologie pratique et les savoirs de façon à ce que chacun adapte à l'autre sa structure : sélection de savoirs à enseigner pour l'épistémologie pratique et contraintes du savoir sur l'épistémologie pratique. Ce couplage s'opère de plus dans les jeux de langage qui réalisent les savoirs.

Comme il n'existe des jeux de langage que dans des formes de vie, il n'existe pas de savoirs sans institutions qui les font vivre, c'est à dire qui les intègrent à une forme de vie, faite de personnes et d'usages, d'histoire et d'avenir. A ce titre, il existe une sorte de paradoxe des savoirs : les savoirs stabilisés transportent avec eux une forme de vie passée qui perdure au présent alors que les savoirs controversés participent d'une forme de vie présente et tournée vers l'avenir. Cet étrange destin du passé et de l'avenir fait que les savoirs d'hier, stabilisés, dont l'histoire dans l'institution a forgé des manières de vivre se retrouvent à côté de savoirs de demain, controversés et dont l'urgence sociale fait que la société presse l'école de les intégrer à son institution. L'enseignant se retrouve alors au présent avec l'obligation de faire vivre la mémoire du passé et celle de demain. La dimension éducative est alors peut-être ce qui permet de faire le lien entre présent et projection dans l'avenir, de même que la perspective historique donne du sens au présent de nos formes de vie. Autrement dit, s'intéresser aux savoirs « traditionnels » et controversés, n'est-ce pas envisager de plonger dans l'avenir en prenant l'élan dans notre passé ?

Considérer que les savoirs *se réalisent* dans les jeux de langage, c'est considérer que les savoirs sont bien fragiles car ils dépendent de ces jeux. Nous songeons alors à cette pensée de

Cavell (1996, p. 272) et mesurons à quel point futur et passé sont noués dans notre action présente : « ne commençons-nous pas (ou ne devrions nous pas commencer) à être terrifiés à la pensée que, peut-être, le langage (ainsi que la compréhension, et la connaissance) reposent sur des fondations extrêmement précaires – léger filet jeté sur un abîme (...). Cette idée en effet peut nous donner l'impression que, pour que nos mots continuent à vouloir dire ce qu'ils veulent dire, il faut que d'autres veuillent bien se donner la peine de continuer à nous comprendre ».

17.2 Perspectives envisagées

Nous envisageons plusieurs directions pour poursuivre ce travail des conditions écologiques d'intégration de la « science en action » dans l'enseignement actuel.

Approfondir le lien entre les objets d'enseignement « énergie » et « changement climatique »

Si nous avons choisi en commençant ce travail l'énergie et le changement climatique comme objets d'enseignement – supports à notre étude, c'est que l'énergie nous a semblé le pivot central à la fois des programmes actuels de physique et du champ savant et que le changement climatique était une question vive présente dans le référentiel de STAV et déjà bien étayée en didactique. Toutefois, arrivés à ce stade de notre travail, nous comprenons qu'il y a une proximité entre les deux objets et qu'il serait intéressant de continuer à réfléchir à l'articulation de ces deux objets d'enseignement. Les deux enseignants que nous avons suivis ont tous les deux problématisé le changement climatique : l'enseignant A introduit l'idée de « défi énergétique » pour lier les deux séances et l'enseignante B contextualise le jeu de rôle à une conférence des citoyens sur « les politiques énergétiques et le changement climatique ».

Il nous semble qu'il y a donc une continuité thématique qu'il nous faut explorer.

Le lien entre énergie et climat est effectivement un enjeu reconnu au niveau des politiques publiques. La loi Grenelle 2 oblige en effet les collectivités territoriales (régions, départements, communautés urbaines) à élaborer d'ici la fin 2012 un plan climat-énergie territorial (PCET) fondé sur l'évaluation des émissions de GES (bilan carbone, empreinte énergétique, etc.), des plans d'action prospective afin de réaliser les objectifs politiques (facteur 4 en 2050 par exemple). De même, le ministère de l'agriculture et de la pêche a mis en place un plan de performance énergétique¹⁴⁰ (PPE) pour les exploitations agricoles, qui passe par l'évaluation de leur bilan énergétique (bilan carbone ; méthode de diagnostic PLANETE : Pour l'ANalyse EnergÉTique de l'Exploitation).

On conçoit donc qu'il existe dans les politiques publiques une assimilation entre la problématique de l'évolution du climat et la gestion des flux énergétiques.

Nous supposons à ce stade qu'énergie et changement climatique peuvent donc être articulés dans une problématique commune, celle des « défis énergétiques ». Nous sommes conscients que l'expression est utilisée régulièrement dans les médias¹⁴¹, les revues scientifiques¹⁴² et les programmes d'enseignement¹⁴³, sans qu'une définition uniforme en soit donnée. Nous pouvons cependant donner quelques éléments qui fondent cette problématique :

- l'usage actuel de sources fossiles d'énergie, dont l'extraction est bon marché et techniquement optimisée ;

¹⁴⁰ Circulaire DGPAAT/SDEA/C2009-3012 du 18 février 2009.

¹⁴¹ Par exemple, voir le cahier spécial du *Monde* du 5 Octobre 2006 : Le passé pour avenir.

¹⁴² Par exemple, voir *Futuribles* de Janvier 2006 : Perspectives énergétiques et effet de serre.

¹⁴³ Par exemple, voir le programme de 1^{ère} L et ES : « le défi énergétique », BO n°9 du 30 septembre 2010 ;

- le coût économique et écologique de l'extraction de nouvelles sources fossiles d'énergie (gaz de schiste par exemple) ;
- la disponibilité limitée des sources fossiles d'énergie ;
- la volonté politique globale de *réduction* des émissions humaines de gaz à effet de serre qui influenceraient le climat ;
- l'absence de solutions alternatives aux sources fossiles pour des usages à grande échelle ;
- la volonté des peuples, des pays développés ou émergents, de s'assurer un développement social et économique ;
- l'absence actuelle de modèle économique et social alternatif...

Ces quelques points montrent que la question est complexe, mais il nous semble important dans la suite de notre travail d'envisager le lien énergie-climat comme un unique objet, aux dimensions multiples. Il y a donc ici matière à mener une réflexion théorique pour fonder un peu plus cette *question vive* des « défis énergétiques ». L'exploration de cette question, vue depuis la perspective de la formation, nous conduit à nous interroger plus fortement sur la formation à l'expertise, pour les futurs scientifiques autant que pour les citoyens.

Mener une étude longitudinale sur le développement professionnel des enseignants suivis

Nous estimons que nous sommes, en tant que chercheur, redevables envers les enseignants suivis. En effet, notre position éthique nous oblige à leur renvoyer les analyses faites, à leur montrer ce que nous avons décrit de leur pratique et à partager et discuter avec eux la compréhension que nous en avons.

Toutefois, nous supposons que si cet échange est une contrepartie à leur participation à notre recherche, il constitue également un retour « formateur » sur leurs pratiques. Il nous semble qu'il y a là matière à un échange honorable et éthique entre le chercheur et les enseignants : une analyse de leurs pratiques pour alimenter la recherche, et un développement professionnel accompagné pour les enseignants.

C'est en ce sens que nous estimons qu'il serait intéressant de continuer à collaborer avec ces deux enseignants dont nous avons analysé la pratique. Le développement professionnel devient alors à la fois un objet de recherche pour le chercheur, à travers des analyses de pratiques successives, et une opportunité de formation pour l'enseignant avec lequel le chercheur travaille.

L'ambition de ce dispositif est alors d'étudier le développement professionnel d'enseignants, en se donnant le temps d'une étude longitudinale dont ce travail de thèse constituerait les conditions initiales. Ce dispositif pourrait avoir pour objectif d'étudier l'évolution de l'épistémologie pratique de l'enseignant, tout en articulant de plus en plus finement le lien entre « énergie » et « changement climatique » par évolution du contrat de recherche.

Articuler nos objets de recherche dans le contexte des réformes actuelles de l'enseignement des sciences

D'autre part, il convient d'interroger nos objets de recherche en fonction des changements récents de l'enseignement de la physique-chimie. Nous estimons en effet que les réformes successives de l'école, puis du collège et enfin du lycée (général, technique ou professionnel) doivent être intégrées à notre façon d'envisager nos objets de recherche.

Les nouvelles prescriptions préconisent en effet des changements forts de pratiques : il s'agit en particulier de l'enseignement et l'évaluation par compétences, qui conduisent à considérer l'enseignement/apprentissage des sciences plus uniquement par les seuls savoirs, mais par leur mobilisation dans une situation complexe. Le socle commun de compétences du collège

définit par exemple comme compétences à travailler « rechercher, extraire et organiser l'information utile », « raisonner, argumenter, pratiquer une démarche expérimentale ou technologique », « présenter la démarche suivie, les résultats obtenus, communiquer ». L'enseignement d'éléments de « science en action » comme les controverses socioscientifiques se prête à un travail, non pas ciblé uniquement sur la démarche expérimentale ou technologique comme le restreignent le cadre des compétences citées. Elles peuvent donner des contextes de situations complexes dans lesquelles les élèves peuvent travailler ces mêmes compétences, ainsi que la compétence : « débattre ».

La démarche d'investigation, devenue centrale dans les derniers référentiels de formation aux sciences, peut ainsi être couplée à une démarche type « science en action » où les compétences sont travaillées sur une question vive. D'ailleurs, il est notable que des champs vifs soient proposés à la liberté pédagogique des enseignants (par exemple : nanochimie, relations sciences société, en 1^{ère} S ; retour du nucléaire en STAV ; chimie verte et nanotechnologies en T^{ale} S ; défi énergétique en STAV, 1^{ère} L et ES).

L'analyse de pratiques peut être également utile dans ce cas pour identifier les changements effectifs de pratiques, comme les leviers et obstacles à ces changements. Il nous semble donc qu'une méthodologie similaire à celle que nous avons utilisée dans ce travail peut être mise en place pour analyser des situations d'enseignement / apprentissage ciblées sur un travail par compétences. Nous envisagerions dans ce cas, plutôt qu'une étude longitudinale, des études multiples pour couvrir des compétences diverses.

Construire un dispositif de formation qui envisagerait l'enseignement / apprentissage de la physique comme celui d'une langue

Nous avons analysé les savoirs en étudiant leurs conditions d'énonciation et en les considérant comme des énoncés, c'est-à-dire comme des éléments de langage plutôt qu'un discours sur le monde.

Cette préoccupation que nous avons du langage et la description que nous faisons de l'enseignement des sciences comme l'enseignement d'une grammaire et d'énoncés nous incitent à aller au delà d'un outil méthodologique pour comprendre et décrire les pratiques. Finalement, et si l'enseignement de la physique était considéré comme l'enseignement d'une langue aux élèves ?

Il nous semble alors intéressant de prolonger cette réflexion, d'étudier plus particulièrement la didactique des langues, la philosophie du langage de Wittgenstein, et pourquoi pas tenter de construire une formation qui prendrait comme architecture ce postulat ?

Bibliographie

- Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of Nature of Science, a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22, 665-701.
- Aikenhead, G. S. (2003). *Review of research on humanistic perspectives in science curricula*. Article présenté à la conférence de l'ESERA, 18-23 Août 2003, Noorwijkerhout.
- Albe, V. (2005a). Un jeu de rôle sur une controverse socio-scientifique actuelle. Une stratégie pour favoriser la problématisation ? *Aster*, 40, 67-94.
- Albe, V. (2005b). Positions d'étudiants et d'étudiantes sur une question techno-scientifique controversée : la dangerosité des téléphones cellulaires. *Revue Canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, 5, 361-376.
- Albe, V. (2007). Students' positions and considerations of scientific evidence about a controversial socio-scientific issue. *Science & Education*. Special Issue on Social and Ethical Issues in Science Education (Guest Editor Dana L. Zeidler), sous presse.
- Albe, V. (2009a). L'enseignement des controverses socioscientifiques. Quels enjeux sociaux, éducatifs et théoriques ? Quelles mises en forme scolaire ? *Éducation & Didactique*, 3, 45-76.
- Albe, V. (2009b). *Enseigner des controverses*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- Albe, V. & Gombert, M.-J. (2010). Intégration scolaire d'une controverse socioscientifique contemporaine : savoirs et pratiques d'élèves pour appréhender les savoirs et pratiques de scientifiques. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 2, 103-126.
- Albe, V. & Ruel, F. (2006a). Points de vue d'enseignantes et d'enseignants de sciences sur l'enseignement de controverses socioscientifiques. 1ère partie : pertinence et légitimité. Soumis à la *Revue Canadienne d'Enseignement des Sciences, des Mathématiques et des Technologies*.
- Albe, V. & Ruel, F. (2006b). Points de vue d'enseignantes et d'enseignants de sciences sur l'enseignement de controverses socioscientifiques. 2ème partie : la nature des savoirs scientifiques, le rôle des controverses, le rapport à l'expertise et la critique. Soumis à la *Revue Canadienne d'Enseignement des Sciences, des Mathématiques et des Technologies*.
- Albe, V. & Ruel, F. (2008). Des enseignements de sciences dans une perspective d'éducation citoyenne ? *Didaskalia*, 33, 121-140.
- Albe, V. & Simonneaux, L. (2003). Procès sur les téléphones mobiles : impact sur la réflexion épistémologique d'enseignants. In V. Albe, C. Orange et L. Simonneaux, (Eds). *Recherches en didactique des sciences et des techniques : questions en débat*. Toulouse : ARDIST & ENFA (pp. 253-260).

- Alpe, Y. (2006). Quelle est la légitimité des savoirs scolaires ? In A. Legardez & L. Simonneaux (Eds.), *L'école à l'épreuve de l'actualité : Enseigner les questions vives* (pp. 233-246). Paris : ESF.
- Amade-Escot, C. & Venturini, P. (2009) Le milieu didactique : d'une étude empirique en contexte difficile à une réflexion sur le concept. *Éducation & Didactique*, 3, 7-44.
- Anderson, B. & Wallin, A. (2000). Students' Understandings of the Greenhouse Effect, Societal Consequences of Reducing CO₂ Emissions and why the Ozone Layer Depletion is a Problem. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 10, 1096-1111.
- Armatte, M., Dahan Dalmedico, A. (2004). Modèles et modélisations, 1950-2000 : Nouvelles pratiques, nouveaux enjeux. *Revue d'histoire des sciences*, 57, 2, 243-303.
- Arsac, G., Chevallard, Y., Martinand, J.-L., Tiberghien, A. (1994). *La transposition didactique à l'épreuve*. Grenoble : La pensée sauvage.
- Astolfi, J.-P. (2006). Les questions vives en question ? In A. Legardez & L. Simonneaux (Eds.), *L'école à l'épreuve de l'actualité : Enseigner les questions vives* (pp. 9-12). Paris : ESF.
- Bachelard, G. (1949/1994). *Le rationalisme appliqué*. Paris : PUF.
- Bader, B. (2003). Interprétation d'une controverse scientifique : stratégies argumentatives d'adolescentes et d'adolescents québécois. *Revue Canadienne de l'Enseignement des Sciences, des Mathématiques et des Technologies*, 3, 231-250.
- Balibar, F. (1999). Article « énergie ». In D. Lecourt, D. (Ed.), *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences* (pp. 342-347). Paris : PUF.
- Ballini, P., Robardet, G., Rolando, J.-M. (1997). L'intuition, obstacle à l'acquisition de concepts scientifiques. Propositions pour l'enseignement du concept d'énergie en première S. *Aster*, 24, 81-112.
- Baudrillard, J. (1990). *La transparence du mal*. Paris : Galilée.
- Blay, M. & Halleux, R. (Eds.). (1998). *La science classique, XVI^e – XVIII^e. Dictionnaire critique*. Paris : Flammarion.
- Blay, M. & Halleux, R. (1998). Article « Attraction / affinité ». In M. Blay & R. Halleux (Eds.), *La science classique, XVI^e – XVIII^e. Dictionnaire critique* (pp. 449-456). Paris : Flammarion.
- Bourdieu, P. (1984). *Questions de sociologie*. Paris : éditions de minuit.
- Brickhouse, N.W. (1990). Teacher's beliefs about the NOS and their relationship to classroom practice. *Journal of Teacher Education*, 41, 53-62.
- Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 7, 33-115.

- Brousseau, G. (2003). *Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques*.
En ligne http://perso.orange.fr/daest/guy-brousseau/textes/Glossaire_Brousseau.pdf, consulté le 10 Janvier 2009.
- Bru, M., (2002). Pratiques enseignantes : des recherches à conforter et à développer. *Revue Française de Pédagogie*, 138, 63-73.
- Bru, M., Altet, M., & Blanchard-Laville, C. (2004). A la recherche des processus caractéristiques des pratiques enseignantes dans leurs rapports aux apprentissages. *Revue Française de Pédagogie*, 148, 75-87.
- Bruguière, C., Sivade, A., & Cros, D. (2002). Quelle terminologie adopter pour articuler enseignement disciplinaire et enseignement thématique de l'énergie, en classe de première de série scientifique ? *Didaskalia*, 20, 67-100.
- Brun, J. (Ed.) (1996). *Didactique des mathématiques*. Lausanne : Delachaux et Niestlé.
- Bruneaux, M. (1984). La thermodynamique, une science à reformuler, *Langue française*, 64, 81-92.
- Bryce, T. & Gray, D. (2004). Tough acts to follow : the challenges to science teachers presented by biotechnological progress. *International Journal of Science Education*, 26, 717-733.
- Buty, C., & Mortimer, E. (2008). Dialogique/authoritative Discourse and Modelling in high-school teaching sequence on Optics. *International Journal of Science Education*, 30, 1635-1660.
- Callon, M. (1999). Ni intellectuel engagé, ni intellectuel dégage. La double stratégie de l'attachement et du détachement. *Sociologie du travail*, 41, 65-78.
- Calsafiore, S. (2002). La structuration de l'activité quotidienne des enseignants en classe : vers une analyse en termes d'« action située ». *Revue Française de Pédagogie*, 138, 75-84.
- Cavell, S. (1996). *Les voix de la raison*. Paris : Seuil.
- Charaudeau, P. & Maingueneau, D. (2002) (Eds.). *Dictionnaire d'analyse du discours*. Paris : Seuil.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : la pensée sauvage.
- Chevallard, Y. (1994). Les processus de transposition didactique et leur théorisation. In G. Arzac, Y. Chevallard, J.-L. Martinand, A. Tiberghien. *La transposition didactique à l'épreuve* (pp. 135-180). Grenoble : La pensée sauvage.

- Chevallard, Y. (1996). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. In J. Brun (Ed.), *Didactique des mathématiques* (pp. 145-196). Lausanne : Delachaux et Niestlé.
- Chevallard, Y. (1997). *Questions vives, savoirs moribonds : le problème curriculaire aujourd'hui*, Colloque Défendre et transformer l'école pour tous, Marseille, 3,4 et 5 octobre 1997.
- Chevallard, Y. (2003). Approche anthropologique du Rapport au savoir et didactique des mathématiques. In S. Maury & M. Caillot (Eds.), *Rapport au savoir et didactiques*. Paris : Fabert.
- Childs, A. & Mc Nicholl, J. (2007). Investigating the relationship between subject content knowledge and pedagogical practice through the analysis of classroom discourse. *International Journal of Science Education*, 29, 1629-1653.
- Crahay, M., Fagnant, A. (2007). A propos de l'épistémologie personnelle : un état des recherches anglo-saxonnes. *Revue Française de Pédagogie*, 161, 79-117.
- Criqui, P. & Iasca, C. (2011). Les scénarios sur l'énergie et le climat. L'avant et l'après-Copenhague. *Futuribles*, 373, 47-64.
- Cross, R. T. & Price, R. (1996). Science teachers' social conscience and the role of controversial issues in the teaching of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 319-333.
- Dahan, A. & Guillemot, H. (2006). Changement climatique : Dynamiques scientifiques, expertise, enjeux géopolitiques. *Sociologie du travail*, 48 (3), 412-432.
- Dahan, A. (2007). « Le changement climatique, une expertise entre science et politique ». *La revue pour l'histoire du CNRS*, 16. En ligne <http://histoire-cnrs.revues.org/1543>, consulté le 20 février 2012.
- DeBoer, G. E. (2000). Scientific literacy : another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of research in science teaching*, 37, 582-601.
- Delbosc, A. & de Perthuis, C. (2011). Le changement climatique après Cancun. *Futuribles*, 373, 65-83.
- Deleuze, G. (1980/2001). *Mille plateaux*. Paris : Les éditions de Minuit.
- Dercourt, J. (2004). *Les flux d'étudiants susceptibles d'accéder aux carrières de recherche. L'exemple de l'Ile-de-France dans le cadre national*. Rapport à l'Académie des sciences, EDP Sciences.
- Désautels, J. (1998). Une éducation aux technosciences pour l'action sociale. In *La recherche en didactique au service de l'enseignement* (pp. 9-27). Journées internationales de didactique des sciences de Marrakech, Marrakech (Maroc) : Université Cadi Ayyad, Faculté des sciences Semlalia.

- Désautels, J. (2002). L'alphabétisation technoscientifique et la démocratisation de la démocratie. *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, 2, 189-195.
- Désautels, J., Larochelle, M. (1993). La formation à l'enseignement des sciences : le virage épistémologique. *Didaskalia*, 1, 49-67.
- Désautels, J. & Larochelle, M. (2004). Forme scolaire, éducation aux sciences et pratique de la critique. *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, 4, 515-528.
- Désautels, J., Larochelle, M., Gagné, B., Ruel, F. (1993). La formation à l'enseignement des sciences : le virage épistémologique. *Didaskalia*. 1, 49-67.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham, UK : Open University Press.
- Dupuy, J.-P. (2002). *Pour un catastrophisme éclairé*. Paris : Seuil.
- Feynman, R. (1963/1999). *Le cours de Physique de Feynman, Mécanique 1*. Paris : Dunod.
- Fornel, M., & Quéré, L. (1999). Présentation. Raison pratique. In M. de Fornel, & L. Quéré (Eds). *La logique des situations. Nouveaux regards sur l'écologie des activités sociales* (pp. 7-32). Paris : Edition de l'EHESS.
- Fourez, G. (1994). *Alphabétisation scientifique et technique, essai sur les finalités de l'enseignement des sciences*. Bruxelles : De Boeck Université.
- Fourez, G. (2002a). Les sciences dans l'enseignement secondaire. *Didaskalia*, 21, 107-122.
- Fourez, G. (2002b). En écho à l'article de Fensham. *Revue Canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*. 2, 197-202.
- Fourier, J. (1824). Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires. In *Sur les origines de l'effet de serre et du changement climatique* (2010) (pp.29-50). Paris : La ville brûle.
- Gabbey, A. (1998). Article « Force, force vive, conservation ». In M. Blay & R. Halleux (Eds.), *La science classique, XVI^e – XVIII^e. Dictionnaire critique* (pp. 524-534). Paris : Flammarion.
- Gayford, C. (2002). Controversial environmental issues : a case study for the professional development of science teachers. *Journal of Research in Science Education*, 24, 1191-1200.
- GIEC (1995). *Seconde évaluation du GIEC – changement de climat 1995*. En ligne <http://www.ipcc.ch>, consulté en février 2012.

- GIEC (2001). *Bilan 2001 de l'évolution du climat : Les éléments scientifiques – Contribution du Groupe de travail I au Troisième Rapport d'évaluation du GIEC 2001*. En ligne <http://www.ipcc.ch>, consulté en février 2012.
- GIEC (2007). *Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève. En ligne <http://www.ipcc.ch>, consulté en octobre 2009.
- Giordan, A. (1978). *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Paris : Centurion.
- Glock, H.J. (1996). *Dictionnaire Wittgenstein*. Paris : Gallimard.
- Godard, O. (2011). *Le climato-scepticisme médiatique en France : un sophisme moderne*. Cahier n°2011-20 de l'École Polytechnique CNRS.
- Goffi, J.-Y. (Ed.) (2006). *Regards sur les technosciences*. Paris : Vrin.
- Goffman, E. (1956/1973), *La mise en scène de la vie quotidienne, 1. La présentation de soi*. Paris : Les éditions de Minuit.
- Goldring, H., Osborne, J. (1994). Students' difficulties with energy and related concepts, *Physics Education*, 29, 26-32.
- Grace, M. M. & Ratcliffe, M. (2002). The science and values that young people draw upon to make decisions about biological conservation issues. *International Journal of Science Education*, 24, 1157-1169.
- Griggs, P. (2006). Réalisation de l'analyse d'une tâche en cours de langue étrangère dans la perspective de la théorie de l'activité. In M.-C Guernier, V. Durand-Guerrier, J.-P Sautot, *Interactions verbales, didactiques et apprentissages* (pp. 97-114). Besançon : Presses Univ. Franche-Comté.
- Guedj, M. (2000). *L'émergence du principe de conservation de l'énergie et la construction de la thermodynamique*. Thèse de Doctorat, REHSEIS, Université de Paris 7.
- Guedj, M. (2003a). L'introduction du principe de conservation de l'énergie dans l'enseignement secondaire français vue à travers quelques manuels. *Tréma*, 22, 50-63.
- Guedj, M. (2003b). Thompson et l'émergence du principe de conservation de l'énergie : quand les liens donnent du sens. *Bulletin d'Union des Physiciens*, 97, 1405-1420.
- Guedj, M. (2006). Du concept de travail à celui d'énergie : l'apport de Thompson. *Revue d'histoire des sciences*, 59, 29-50.
- Ha, E., & Song, J. (2009). Patterns of linguistic communication in teaching and learning science : a case study of Korean middle school science classes. *International Journal of Science Education*, 31, 173-192.

- Hashweh, M.Z. (1996). Effects of Science Teachers' Epistemological Beliefs in Teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 47–63.
- Hodson, D. (2003). Time for action : science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25, 645-670.
- Hottois, G. (2006). La technoscience : de l'origine du mot à son usage actuel. In J.-Y. Goffi (Ed.), *Regards sur les technosciences* (pp. 21-38). Paris : Vrin.
- Jiménez-Aleixandre, M.-P., Bugallo Rodriguez A., Duschl R. A. (2000). « Doing the lesson » or « doing science » : Argument in High School, *Science Education*, 84, 757-792.
- Jiménez-Aleixandre, M.-P. & Pereiro-Munoz, C. (2002). Knowledge producers or knowledge consumers ? Argumentation and decision making about environmental management. *International Journal of Science Education*, 24, 1171-1190.
- Jones, G., Carter, G. (2007). Science Teacher Attitudes and Beliefs. In S. K. Abell & N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 1067–1104). Mahwa, New Jersey : LEA Editions.
- Jonnaert, P. & Vander Borgh, C. (1999). *Créer des conditions d'apprentissage - un cadre de référence socio-constructiviste pour une formation didactique des enseignants*. Bruxelles : De Boeck.
- Klaasen, C.W.J.M, & Linjse, P.L. (1996), Interpreting students and teachers discourse in science classes : an underestimated problem? *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 115-134.
- Koliopoulos, D., Tiberghien, A. (1986). Éléments d'une bibliographie concernant l'enseignement de l'énergie au niveau des collèges. *Aster*, 2, 167-178.
- Koliopoulos, D., Ravanis, K. (1998). L'enseignement de l'énergie au collège vu par les enseignants. Grille d'analyse de leurs conceptions. *Aster*, 26, 165-182.
- Koliopoulos, D., Ravanis, K. (2000). Élaboration et évaluation du contenu conceptuel d'un curriculum constructiviste concernant l'approche énergétique des phénomènes mécaniques. *Didaskalia*, 16, 33-56.
- 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.
- Kolstø, S.D. (2006a). Science students' critical examination of scientific information related to socioscientific issues. *Science Education*, 90, 632-655.
- Kolstø, S.D. (2006b). Patterns in students' argumentation confronted with a risk-focused socio-scientific issue. *International Journal of Science Education*, 28, 1689-1716.

- Kruger, C., Palacio, D. & Summers, M. (1992). Survey of English primary teachers : conceptions of force, energy and materials. *Science Education*, 76, 339-351.
- Kuhn, T.S. (1959/1990). *La tension essentielle. Tradition et changement dans les sciences*. Paris : Gallimard.
- Lakin, S. & Wellington, J. (1994). Who will teach the “nature of science” ? : teachers’ view of science and their implications for science education. *International Journal of Science Education*, 16, 175-190.
- Larochelle, M. & Désautels, J. (2001). Les enjeux des désaccords entre scientifiques : un aperçu de la construction discursive d’étudiants et d’étudiantes. *Revue Canadienne de l’enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, 1, 39-60.
- Larochelle, M. & Désautels, J. (2006). L’éducation aux sciences et le croisement des expertises. In A. Legardez & L. Simonneaux (Eds.), *L’école à l’épreuve de l’actualité : Enseigner les questions vives* (pp. 61-77). Paris : ESF.
- Latour, B. (1989/1995). *La science en action*. Paris : La Découverte.
- Latour, B. (2005). *Changer de société, refaire de la sociologie*. Paris : La Découverte.
- Laugier, S. (2010). *Wittgenstein. Le mythe de l’inexpressivité*. Paris : Vrin.
- Laugksch, R. C. (2000). Scientific literacy : a conceptual overview. *Science Education*, 84, 71-94.
- Lecourt, D. (Ed.). (1999). *Dictionnaire d’histoire et de philosophie des sciences*. Paris : PUF.
- Lederman, N.G. (1992). Students’ and teachers’ conceptions of the nature of science : a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 331-359.
- Lederman, N.G. (2007). Nature of Science : Past, Present, and Future. In S. K. Abell & N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831 – 879). Mahwa, New Jersey : LEA Editions.
- Lee, H., Abd-El-Khalick, F. & 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, 97-117.
- Legardez, A. (1999). *Voies de recherche en didactique des sciences économiques, sociales et de gestion : l’exemple des sciences économiques et sociales dans l’enseignement secondaire français*. Mémoire de synthèse pour l’habilitation à diriger des recherches, Université de Provence.
- Legardez, A. (2006). Enseigner des questions socialement vives. Quelques points de repères. In A. Legardez & L. Simonneaux (Eds.), *L’école à l’épreuve de l’actualité : Enseigner les questions vives* (pp. 19-31). Paris : ESF.

- Legardez, A. & Simonneaux, L. (Eds.). (2006). *L'école à l'épreuve de l'actualité. Enseigner les questions vives*. Paris : ESF.
- Lenoir, Y. (2001). *Climat de panique*. Lausanne : Favre.
- Leutenegger, F. & Saada-Robert, M. (2002). *Expliquer et comprendre en sciences de l'éducation*. Bruxelles : De boeck.
- Leutenegger, F. (2009). *Le temps d'instruire. Approche clinique et expérimentale du didactique ordinaire en mathématique*. Bruxelles : Peter Lang.
- Levinson, R. (2004). Teaching Bioethics in Science : Crossing a bridge too Far ? *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 4, 353-369.
- Levinson, R. (2006). Towards a Theoretical Framework for Teaching Controversial Socio-scientific Issues. *International journal of Science Education*, 28, 1201-1244.
- Lewis, J., Leach, J. (2006). Discussion of Socio-scientific Issues : The role of science knowledge. *International journal of Science Education*, 28, 1267-1287.
- Liotard, J.-F. (1979/1993). *La condition postmoderne*. Paris : PUF.
- Liotard J.-F. (1986/1988). *Le Postmoderne expliqué à mes enfants*. Paris : Galilée.
- Marcel, J.-F., Olry, P., Rothier-Bautzer, E. & Sonntag, M. (2002). Note de synthèse : Les pratiques comme objet d'analyse. *Revue Française de Pédagogie*, 138, 135-170.
- Marlot, C. (2008). *Caractérisation des transactions didactiques : deux études de cas en découverte du monde vivant au cycle 2 de l'école élémentaires*. Thèse de doctorat, Université de Rennes.
- Marsollat, B. (2011). Climatiser la planète ? *Futuribles*, 373, 85-102.
- Merleau-Ponty, J. (1979). La découverte des principes de l'énergie : l'itinéraire de Joule. *Revue d'histoire des sciences*, 32, 315-331.
- Morin, E. (1990). *Introduction à la pensée complexe*. Paris : ESF.
- Mortimer, E. F., & Machado, A. H. (2000). Anomalies and conflicts in classroom discourse. *Science Education*, 84, 429-444.
- Mortimer, E.F. & Scott, P. (2003). *Meaning making in secondary classrooms*. Maidehead : Open University Press.
- National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington DC : National Academic Press.
- <http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309053269>, consulté le 3 Décembre 2009.

- OCDE (2006). *Evolution de l'intérêt des jeunes pour les études scientifiques et technologiques. Rapport d'orientation*. Forum Mondial de la Science. En ligne <http://www.oecd.org/dataoecd/60/24/37038273.pdf>, consulté le 10 Décembre 2009.
- Orange, C. (2003). Débat scientifique dans la classe, problématisation et argumentation : le cas d'un débat sur la nutrition au cours moyen. *Aster*, 37, p.83-107.
- Orange, C. (2007). Quel milieu pour l'apprentissage par problématisation en sciences de la vie et de la terre ? *Education & Didactique*, 1, 35-54.
- Osborne, J., Erduran, S., Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 994-1020.
- Oulton, C. Dillon, J. & Grace, M. (2004). Reconceptualizing the teaching of controversial issues. *International Journal of Science Education*, 26, 411-424.
- Patronis, T., Potari, D. & Spiliotopoulou, V. (1999). Students' argumentation in decision-making on a socio-scientific issue : implications for teaching. *International Journal of Science Education*, 21, 745-754.
- Pinsart, M.-G. (2006). Le Cyborg : identité et (dé)construction sociopolitique. In J.-Y. Goffi (Ed.), *Regards sur les technosciences* (pp. 81-94). Paris : Vrin.
- Poincaré, H. (1902/1992). *La science et l'hypothèse*. Paris : Flammarion.
- Porlan Ariza, R., Garcia Garcia, E., Martin del Pozo, E. (1998). Les obstacles à la formation professionnelle des professeurs en rapport avec leurs idées sur la science, l'enseignement et l'apprentissage. *ASTER*, 26, 207-235.
- Pourprix, B. (2007). De la reconstitution de la physique allemande du XIX^e siècle : les exemples de Georg Simon Ohm et Hermann Helmholtz. *Revue d'Histoire des Sciences*, 60, 185-202.
- Ratcliffe, M. (1997). Pupil decision making about socio-scientific issues within the science curriculum. *International Journal of Science Education*, 19, 167-182.
- Robardet, G., Guillaud, J.-C. (1997). *Eléments de didactique des sciences physiques*. Paris : PUF.
- Roletto, E. (1998). La science et les connaissances scientifiques : points de vue de futures enseignants. *Aster*, 26, 11-30.
- Roqueplo, P. (1997). *Entre savoir et décision : l'expertise scientifique*. Paris : Editions de l'INRA.
- Roux, S. (1999). Article « Force ». In D. Lecourt, D. (Ed.), *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences* (pp. 419-421). Paris : PUF.
- 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. (2006). Socioscience and ethics in science classrooms : teacher perspectives and strategies. *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 353-376
- Sadler, T. D. (2009). Situated learning in science education : socioscientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45, 1-42.
- Sadler, T. D., Amirshokoochi, A., Kazempour, M., 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., Chambers, F. W. & Zeidler, D. L. (2004). Student conceptualisations of the nature of science in response to a socioscientific issue. *International Journal of Science Education*, 26, 387-410.
- Schubauer-Léoni, M.-L. (1986). *Maître-élève-savoir : analyse psycho-sociale du jeu et des enjeux de la relation didactique*. Thèse de Doctorat. Université de Genève.
- Schubauer-Léoni, M.-L. & Leutenegger, F. (2002). Expliquer et comprendre dans une approche clinique / expérimentale du didactique ordinaire. In F. Leutenegger & M. Saada-Robert (Eds). *Expliquer et comprendre en sciences de l'éducation*. (pp. 227-251). Bruxelles : De boeck.
- Schulte, J. (1992). *Lire Wittgenstein*. Paris : L'éclat.
- Schurmans, N. (2006). *Expliquer, interpréter, comprendre. Le paysage épistémologique des sciences sociales*. Genève : Carnets des sciences de l'éducation.
- Scott, P., Mortimer, E., & Aguiar, O. (2006). The tension between authoritative/dialogic discourses: a fundamental characteristic of meaning making interactions in high-school science lessons. *Science Education*, 90, 605-631.
- Seck, M. (2007). *Comparaisons des pratiques de classes dans le cas de l'enseignement de l'énergie en première scientifique (grade 11) : analyse à l'aide du logiciel Transana*. Thèse de doctorat, Université de Lyon, Université de Dakar.
- Seck, M. (2008). Analyse de la « vie » du savoir en classe de physique. Cas de l'énergie en 1^{ère} S. *Didaskalia*, 33, 89-119.
- Sensevy, G., (2002). Des catégories pour l'analyse comparée de l'action du professeur : un essai de mise à l'épreuve. In P. Venturini, C. Amade-escot, et A. Terrisse (Eds.), *Étude des pratiques effectives : l'approche des didactiques* (pp. 25-46). Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Sensevy (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. In G. Sensevy & A. Mercier (Eds.), *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (pp. 13-49). Rennes : Presses Universitaires de Rennes.

- Sensevy, G., & Mercier, A. (2007). *Agir ensemble : l'action didactique conjointe*. In G. Sensevy & A. Mercier (Eds.), *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (pp. 187-211). Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- Sensevy, G., & Quilio, S. (2002). Le discours du professeur. Vers une pragmatique didactique. *Revue française de pédagogie*, 141, 47-56.
- Sensevy, G., Mercier, A., & Schubauer-Leoni, M.-L. (2000). Vers un modèle de l'action didactique du professeur à propos de la course à 20. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 20, 263-304.
- Simonneaux, L. (2001a). Des situations-débats pour développer l'argumentation des élèves sur les biotechnologies : compte-rendu d'innovation. *Didaskalia*, 19, 127-158.
- Simonneaux, L. (2001b). 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. (2003). L'argumentation dans les débats en classe sur une technoscience controversée. *Aster*, 37, 189-214.
- Simonneaux, L. (2006). Quel enjeu éducatif pour les questions biotechnologiques ? In A. Legardez & L. Simonneaux (Eds.), *L'école à l'épreuve de l'actualité : Enseigner les questions vives* (pp. 33-59). Paris : ESF.
- Simonneaux, L. & Albe, V. (2007). Types et domaines d'arguments utilisés dans des débats socioscientifiques. Chapitre à paraître dans C. Plantin & C. Buty (Éds.). *L'argumentation en classe de sciences*. Lyon : INRP.
- Simonneaux, L. & Simonneaux, J. (2005). Argumentation sur des questions socio-scientifiques. *Didaskalia*, 27, 79-108.
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R.B. Alley, T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J.M. Gregory, G.C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B.J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Whetton, R.A. Wood & D. Wratt (2007). Résumé technique. In: *changements climatiques 2007: Les éléments scientifiques. Contribution du groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur les changements climatiques* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, Etats-Unis d'Amérique. En ligne <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-ts-fr.pdf>, consulté en janvier 2012.
- Tiberghien, A. (2009). Préface. In V. Albe. *Enseigner des controverses* (pp. 7-14). Rennes : Presses Universitaires de Rennes.

- Tiberghien, A., Malkoun L., Buty, C., Souassy, N. & Mortimer E. (2007). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différentes échelles de temps. In G. Sensevy & A. Mercier (Eds.), *Agir ensemble : L'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (pp. 93-121). Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- Trumper, R. (1998). A longitudinal study of physics students' conceptions on energy in pre-service training for high school teachers. *Journal of Science Education and Technology*, 7, 311-318.
- Tsai, C.C. (2002). Nested epistemologies : science teachers' beliefs of teaching, learning and science. *International Journal of Science Education*, 771-783.
- Tutiaux-Guillon, N. (2006). Le difficile enseignement des « questions vives » en histoire-géographie. In A. Legardez & L. Simonneaux (Eds.), *L'école à l'épreuve de l'actualité : Enseigner les questions vives* (pp. 119-135). Paris : ESF.
- Tyndall, J. (1861). Sur l'absorption et le rayonnement de la chaleur par des gaz et des vapeurs, et sur la connexion physique du rayonnement, de l'absorption et de la conduction. In *Sur les origines de l'effet de serre et du changement climatique* (2010) (pp.113-159). Paris : La ville brûle.
- Tytler, R., Duggan, S., & Gott, R. (2001). Dimensions of evidence, the public understanding of science and science education. *International Journal of Science Education*, 23, 815-832.
- UNESCO (2005). *Vers les sociétés du savoir*. Éditions UNESCO. En ligne <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001419/141907f.pdf>, consulté le 05 Janvier 2010.
- Urgelli, B. (2004). *Réforme 2000 des programmes de lycée : l'enseignement du concept d'effet de serre : entre savoir savant et savoir enseigné*, Mémoire de DEA, Université Lyon 2.
- Urgelli, B. (2009). *Les logiques d'engagement d'enseignants face à une question socioscientifique médiatisée - Le cas du réchauffement climatique*. Thèse de doctorat, Université de Lyon.
- Varela, F., (1979/1989). *Autonomie et connaissance*. Paris : Seuil.
- Varela, F., Thompson, E., Rosch, E. (1993). *L'inscription corporelle de l'esprit*. Paris : Seuil.
- Vatin, F. (1993). *Le travail : économie et physique, 1780-1830*. Paris : PUF.
- Vatin, F. (1999). Article « travail ». In D. Lecourt, D. (Ed.), *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences* (pp. 955-960). Paris : PUF.
- Venturini, P. (2004). Attitudes des élèves envers les sciences : le point des recherches. *Revue Française de Pédagogie*, 149, 97-123.
- Venturini, P. (2012). Part respectivement portée par les cadres théoriques et par les chercheurs dans la production de données intermédiaires issues des vidéos. Soumis à *Education & didactique*.

- Venturini, P, & Amade-Escot C (2012). Analysis of conditions leading to a productive disciplinary engagement during a physics lesson in a deprived area school. In E. Forman, P. Venturini, M. Ford (Eds) *Challenging PDE framework in science education*. Soumis à International Journal of Educational Research.
- Venturini, P, & Tiberghien, A. (2012). Mise en œuvre de la démarche d'investigation dans le cadre des nouveaux programmes de sciences physiques et chimiques : étude de cas au collège. Soumis à la *Revue Française de Pédagogie*.
- Viennot, L. (1996). *Raisonnement en physique. La part du sens commun*. Bruxelles : De Boeck.
- Virilio, P. (2002). Entretien : A propos de l'exposition « Ce qui arrive... » à la Fondation Cartier à Paris, *Beaux Arts*, 223, 76-83.
- Waters-Adams, S. (2006). The Relationship between Understanding of the NOS and Practice The influence of teachers' beliefs about education, teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 28, 919-944.
- Wittgenstein, L. (1953/2009). *Recherches philosophiques*. Paris : Gallimard.
- Wittgenstein, L. (1987). *De la certitude*. Paris : Gallimard.
- Yang, F.-Y. (2004). Exploring high school students' use of theory and evidence in an everyday context : the role of scientific thinking in environmental science decision-making. *International Journal of Science Education*, 26, 1345-1364.
- Yang, F.-Y. & Anderson, O. R. (2003). Senior high school students' preference and reasoning modes about nuclear energy use. *International Journal of Science Education*, 25, 221-244.
- Zeidler, D. L., Walker, K. A., Ackett, W. A., Simmons, M. L. (2002). Tangled up in views : beliefs in the nature of science and responses to socioscientific dilemmas. *Science Education*, 86, 343-367.
- Zeidler, D. L., Sadler, T. D., Simmons, M. L. & Howes, E. V. (2005). Beyond STS : A Research-Based Framework for Socioscientific Issues Education. *Science Education*, 89, 357-377.
- Zohar, A., Nemet, F. (2002). Fostering Students' Knowledge and Argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 35-62.

Table des matières

INTRODUCTION	10
PARTIE 1 : DES DÉFIS POUR L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES DU XXI^{ÈME} SIÈCLE	13
1. ENSEIGNER LES SCIENCES ET LES TECHNIQUES : UN ENJEU POUR LA SOCIÉTÉ	15
1.1 L'essor des technosciences	15
1.1.1 Définition des technosciences	15
1.1.2 La performance sociale des technosciences	16
1.1.3 Le défi démocratique d'un monde technoscientifique	18
1.2 L'enseignement des sciences et des techniques dans un monde technoscientifique	19
1.2.1 La crise de l'enseignement des sciences et des techniques	19
1.2.2 Différentes perspectives sur la crise de l'enseignement des sciences et des techniques	20
1.2.3 Des critiques formulées à l'enseignement des sciences et des techniques.....	21
1.2.3.1 Forme scolaire et épistémologie des savoirs scientifiques enseignés	21
1.2.3.2 L'autonomie des savoirs scientifiques scolaires	22
Résumé du chapitre 1	23
2. L'ESSOR D'UN NOUVEAU COURANT ÉDUCATIF	25
2.1 La promotion d'une culture scientifique.....	25
2.1.1 Des recommandations institutionnelles.....	25
2.1.2 La culture scientifique : une notion controversée	26
2.1.3 Quelques principes pour un nouveau courant éducatif	27
2.2 L'émergence d'un nouveau courant éducatif	28
2.2.1 Approches anglo-saxonnes.....	28
2.2.1.1 Le mouvement STS	28
2.2.1.2 Le mouvement des Socioscientific issues (SSI).....	29
2.2.1.3 Des termes non stabilisés	30
2.2.2 Approches francophones	30
2.2.2.1 L'enseignement de/par des controverses socioscientifiques	30
2.2.2.2 Les questions socialement vives (QSV).....	31
Résumé du chapitre 2.....	32
3. LES RECHERCHES SUR LES CONTROVERSES SOCIOSCIENTIFIQUES EN MILIEU SCOLAIRE : UN ÉTAT DES LIEUX	33
3.1 Recherches sur l'apprentissage de/par une controverse socioscientifique.....	33
3.1.1 Comment les élèves négocient-ils avec les controverses socioscientifiques ?.....	34

3.1.1.1 Comment les élèves argumentent-ils dans une controverse socioscientifique ?..	34
3.1.1.2 Comment les élèves prennent-ils une décision dans une controverse socioscientifique ?	36
3.1.1.3 Comment les élèves évaluent-ils la qualité et la pertinence d'une information dans le cadre d'une controverse socioscientifique ?	38
3.1.2 Les effets d'un enseignement de/par les controverses socioscientifiques sur l'apprentissage des élèves	40
3.1.2.1 Quels sont les effets sur la motivation des élèves ?	40
3.1.2.2 Quels sont les effets sur les connaissances scientifiques des élèves ?	40
3.1.2.3 Quels sont les effets des ingénieries sur l'argumentation des élèves ?	41
3.1.3 Conclusion.....	42
3.2 Recherches sur l'enseignement de/par une controverse socioscientifique	43
3.2.1 La perception des enseignants de l'enseignement des sciences.....	43
3.2.2 L'intérêt pédagogique perçu de l'enseignement de/par une controverse socioscientifique	44
3.2.3 Les contraintes perçues de l'enseignement de/par une controverse socioscientifique	45
3.2.3.1 Le poids du programme et des examens	45
3.2.3.2 Le manque de confiance des enseignants en leur pratique.....	45
3.2.3.3 Difficultés pour l'enseignant à se positionner face à l'expression de ses valeurs en classe	46
3.2.4 Profils différenciés d'attitudes d'enseignants par rapport à l'enseignement par des controverses socioscientifiques	47
3.2.4.1 L' « attitude engagée »	47
3.2.4.2 L' « attitude engagée généralisée »	48
3.2.4.3 L' « attitude inhibée »	48
3.2.4.4 L' « attitude désengagée ».....	48
3.2.4.5 L' « attitude opposée »	48
3.2.5 Résultats des recherches d'analyse de pratiques d'enseignement	49
3.2.6 Conclusion.....	49
Résumé du chapitre 3.....	50
4. ÉCOLOGIE DES SITUATIONS D'APPRENTISSAGE / ENSEIGNEMENT DE / PAR LES CONTROVERSES SOCIOSCIENTIFIQUES : LA QUESTION DE L'HABITAT	51
4.1 Notion d'écologie des savoirs	51
4.2 La liaison de la « science en action » et de la « science faite » dans l'enseignement des sciences : une question complexe.....	52
4.2.1 Utilisation du registre de la tension	52
4.2.2 Utilisation du registre de l'articulation	53
4.3 L'enseignement de/par des controverses socioscientifiques : quel habitat en milieu scolaire ?.....	54
Résumé du chapitre 4.....	54

**PARTIE 2 : « SCIENCE FAITE » ET « SCIENCE EN ACTION » :
DEUX EXEMPLES DANS L'HISTOIRE ET DANS L'ENSEIGNEMENT
ACTUEL DE LA PHYSIQUE 55**

**5. L'ÉNERGIE COMME EXEMPLE DE « SCIENCE FAITE » : UNE
ANALYSE HISTORIQUE, ÉPISTÉMOLOGIQUE ET DIDACTIQUE DU
CONCEPT D'ÉNERGIE..... 57**

5.1 Histoire du concept d'énergie..... 57

5.1.1 Comment définir l'énergie ? 57

5.1.2 La disponibilité des processus de conversion 58

5.1.2.1 L'extension des possibilités expérimentales 58

5.1.2.2 La mécanique rationnelle : un projet réductionniste 59

5.1.2.3 Quelques voies de formulation du principe de conservation de l'énergie 61

5.1.3 L'intérêt des ingénieurs pour les machines : le concept de travail..... 62

5.1.3.1 De la force au travail : l'apport des ingénieurs 62

5.1.3.2 Un point négligé par l'histoire des sciences : du concept de travail à celui
d'énergie..... 63

5.1.4 Le rôle de la Naturphilosophie et de l'idéalisme allemand..... 63

5.1.5 L'introduction de l'énergie dans l'enseignement de la Physique..... 65

**5.2 L'énergie dans les programmes de Physique qui correspondent à notre champ
d'étude 66**

5.2.1 Programme de la classe de 1^{ère} S..... 66

5.2.2 Programme de la classe de 1^{ère} STAV..... 67

5.3 Les recherches en didactique de la physique sur le concept d'énergie..... 67

5.3.1 Les recherches sur les conceptions..... 67

5.3.1.1 Le rôle du langage 68

5.3.1.2 Les conceptions « pré-énergétiques » des élèves 68

5.3.1.3 Les conceptions des élèves après un enseignement sur l'énergie 69

5.3.1.4 Les conceptions des enseignants 69

5.3.2 Les recherches sur l'énergie dans les curricula..... 70

5.3.2.1 Le curriculum « traditionnel »..... 70

5.3.2.2 Le curriculum « innovatif »..... 70

5.3.2.3 Le curriculum « constructiviste »..... 71

5.3.3 Une analyse de pratiques effectives d'enseignants sur l'enseignement de l'énergie.. 71

Résumé du chapitre 5..... 72

**6. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE COMME EXEMPLE DE
« SCIENCE EN ACTION » : ANALYSE HISTORIQUE,
ÉPISTÉMOLOGIQUE ET DIDACTIQUE DU CHANGEMENT
CLIMATIQUE 73**

6.1 Histoire du changement climatique en tant qu'objet scientifique 73

6.1.1 Les précurseurs : l'hypothèse d'un lien entre l'évolution du climat et la composition
de l'atmosphère 74

6.1.2 La structuration d'un domaine de recherches : les sciences du climat..... 75

6.1.3 Un nouveau visage pour les sciences du climat : Le GIEC 76

6.1.3.1 Objectifs du GIEC..... 76

6.1.3.2	Fonctionnement du GIEC.....	76
6.1.3.3	Les rapports du GIEC.....	77
6.1.3.4	Le rapport de 2007	77
6.1.4	Vers une gouvernance mondiale pour le climat	79
6.1.4.1	La Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.....	79
6.1.4.2	La conférence des parties de Copenhague : un changement de paradigme dans la gouvernance mondiale du climat.....	79
6.2	Le changement climatique : des controverses médiatisées.....	80
6.2.1	Des controverses sur la dimension scientifique du changement climatique	81
6.2.1.1	Des controverses sur le réchauffement climatique.....	81
6.2.1.2	Des controverses sur l'origine anthropique du changement climatique.....	81
6.2.1.3	Des controverses sur les modèles de « circulation générale »	82
6.2.1.4	Des controverses sur les conséquences du changement climatique	82
6.2.2	Des controverses sur les actions à mener contre le changement climatique.....	83
6.2.3	Des controverses mettant en cause la crédibilité du GIEC	83
6.2.3.1	Des erreurs dans les rapports.....	83
6.2.3.2	Le climate Gate	84
6.2.3.3	Une institution controversée.....	84
6.2.3.4	Le rôle du lobbying dans les controverses	84
6.2.3.5	Des controverses médiatisées.....	85
6.3	Le changement climatique dans les programmes de Physique	86
6.4	Le changement climatique : des recherches en didactique	86
6.4.1	Des recherches sur les conceptions	86
6.4.1.1	Les conceptions et la médiatisation.....	86
6.4.1.2	La confusion effet de serre / destruction de la couche d'ozone	87
6.4.1.3	Les conceptions sur l'effet de serre.....	87
6.4.2	Recherches sur le changement climatique	89
6.4.2.1	Recherches sur l'apprentissage de la nature de la science	89
6.4.2.2	Recherches sur l'enseignement	90
	Résumé du chapitre 6.....	91

PARTIE 3 : ANALYSER LES PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT : UN MODÈLE ET DES OUTILS THÉORIQUES 93

7. MODÉLISER LES PRATIQUES ENSEIGNANTES 95

7.1	La pratique de classe : enseigner et apprendre	95
7.1.1	L' « effet-maître »	95
7.1.2	Les courants de référence de l'analyse de pratiques	96
7.2	Comment décrire la pratique de l'enseignant ?.....	97
7.2.1	La théorie de l'action conjointe en didactique (TACD)	97
7.2.1.1	Qu'est-ce que l'action didactique ?	98
7.2.1.2	Quelques concepts fondamentaux pour décrire l'action didactique.....	98
7.2.1.3	Écologie de l'action didactique : le milieu	100
7.2.1.4	Des opérateurs pour décrire l'action	102
7.2.2	Le modèle de l'action du professeur selon la TACD.....	103
7.2.2.1	Le jeu didactique	103
7.2.2.2	Faire jouer le jeu.....	104

7.2.2.3 Construire le jeu	105
7.2.2.4 Les déterminations du jeu	106
7.3 Épistémologie de l'enseignant et pratique d'enseignement : l'épistémologie pratique	106
7.3.1 L'épistémologie pratique dans la TACD	107
7.3.2 Théorie de la connaissance des savoirs scientifiques et pratique d'enseignement : l'apport des recherches sur la Nature Of Science (NOS).....	108
7.3.2.1 Les conceptions épistémologiques des enseignants	108
7.3.2.2 Quels liens entre conceptions des enseignants sur la NOS, des apprenants et pratique de classe ?.....	109
7.3.3 L'épistémologie pratique de l'enseignant de physique	110
Résumé du chapitre 7.....	112
8. COMMENT CARACTÉRISER L'ACTION LANGAGIÈRE DE L'ENSEIGNANT ?	113
8.1 L'action de l'enseignant : une action principalement verbale.....	113
8.1.1 Action langagière de l'enseignant.....	113
8.1.2 Aspects perlocutoires du discours de l'enseignant	114
8.1.3 Comprendre l'action du professeur par une analyse de discours.....	115
8.2 L'analyse communicationnelle	116
8.2.1 L'objet de l'analyse (focus).....	117
8.2.1.1 Les types d'activités d'enseignement (Teaching purposes).....	117
8.2.1.2 Contenu de l'interaction (Content).....	118
8.2.2 L'approche communicationnelle	119
8.2.2.1 Le dialogisme	119
8.2.2.2 Les deux dimensions de l'approche communicationnelle	120
8.2.3 L'analyse de l'action	121
8.2.3.1 Les modèles de discours.....	122
8.2.3.2 Les interventions de l'enseignant.....	122
8.3 L'analyse didactique des jeux de langage	123
8.3.1 Les jeux de langage de Wittgenstein.....	123
8.3.1.1 Les « jeux de langage » comme apprentissage de pratiques	123
8.3.1.2 Les « jeux de langage » fictifs.....	123
8.3.1.3 Les « jeux de langage » dans les activités linguistiques.....	124
8.3.1.4 Le langage comme jeu.....	124
8.3.2 L'analyse didactique des jeux de langage	125
Résumé du chapitre 8.....	126
9. PROBLÉMATIQUE	127
Résumé du chapitre 9.....	129

PARTIE 4 : MÉTHODOLOGIE 131

10. MÉTHODOLOGIE 133

10.1 Principes généraux 133

10.1.1 Une démarche clinique / expérimentale 133

10.1.2 Le dispositif de recherche 134

10.1.2.1 Profil des enseignants dont la pratique est étudiée..... 134

10.1.2.2 Contrat de recherche avec les enseignants A et B..... 135

10.1.2.3 Vue générale du dispositif de recherche..... 135

10.2 Un processus de collecte de traces..... 135

10.2.1 Vue générale du processus de collecte de traces 135

10.2.2 L'enregistrement vidéo des séances 136

10.2.2.1 Avantages / inconvénients de la vidéo 136

10.2.2.2 Dispositifs d'enregistrement vidéo..... 136

10.2.3 Les entretiens avec l'enseignant..... 139

10.2.3.1 Entretiens ante 139

10.2.3.2 Entretiens post 140

10.2.4 Autres traces 140

10.3 Le processus de traitement des traces : la construction de signes 140

10.3.1 Une première réduction du corpus audio et vidéo : la transcription 140

10.3.2 La structuration de la séance en thèmes et jeux d'apprentissage 141

10.3.2.1 Principe de mise en oeuvre..... 141

10.3.2.2 Exemple d'application..... 141

10.3.3 La construction d'un synopsis 143

10.3.3.1 Principe de mise en oeuvre..... 143

10.3.3.2 Exemple d'application..... 143

10.3.4 La construction d'un synopsis à un grain plus fin (découpage en épisodes) 144

10.3.4.1 Principe de mise en oeuvre..... 144

10.3.4.2 L'aide logicielle pour la catégorisation : Transana 144

10.3.4.3 Exemple d'application..... 149

10.3.5 Vue générale du traitement des traces 153

10.4 La production de configurations signifiantes : un jeu de langage du chercheur 153

10.4.1 Posture du chercheur 153

10.4.1.1 Point de vue épistémologique sur la méthodologie utilisée 154

10.4.1.2 Point de vue éthique 154

10.4.1.3 Point de vue sur les savoirs 155

10.4.1.4 Point de vue sur la science 155

10.4.2 Principe de mise en œuvre de la production de configurations signifiantes 155

10.4.3 Exemple d'écriture 156

10.4.4 La présentation des configurations significatives construites 159

Résumé du chapitre 10..... 159

PARTIE 5 : RÉSULTATS 161

11. ANALYSE DE LA SÉANCE A₁ 163

11.1 Construction des signes à partir du corpus principal - Synopsis de la séance 163

11.1.1 Le corpus principal : la bande-vidéo de la séance..... 163

11.1.2 Mise en narration de la séance : structuration en thèmes et jeux d'apprentissage .. 163

11.1.3 Synopsis à l'échelle macroscopique de la séance 166

11.2 Caractéristiques de l'action conjointe dans la séance A₁..... 169

11.2.1 Une topogénèse majoritairement sous la responsabilité de l'enseignant 169

11.2.1.1 La place importante de l'enseignant dans l'avancée des savoirs 169

11.2.1.2 Evolution des descripteurs permettant de caractériser la topogénèse de la séance A₁..... 170

11.2.1.3 Une topogénèse du côté des élèves dans les épisodes où les nouveaux savoirs de physique ne sont pas mis en jeu 171

11.2.1.4 Une topogénèse mixte quand les savoirs ou leurs applications font l'objet d'une construction conjointe, majoritairement dans une forme de communication interactive et autoritative..... 173

11.2.1.5 Une topogénèse du côté de l'enseignant dans les épisodes de définition des jeux et d'institutionnalisation des savoirs 175

11.2.1.6 Caractéristiques de la topogénèse de la séance A₁ : conclusion..... 176

11.2.2 Une mésogénèse interactive, entre l'enseignant et les élèves, dans laquelle de nombreux savoirs sont institutionnalisés par l'enseignant à partir des propositions des élèves..... 176

11.2.2.1 Les types d'interaction majoritairement entre l'enseignant et les élèves, le plus souvent à l'initiative de l'enseignant..... 177

11.2.2.2 Les techniques didactiques « réguler » et « institutionnaliser » prédominant dans la gestion de la mésogénèse par l'enseignant..... 178

11.2.2.3 L'enseignant régule le milieu en y apportant des éléments 179

11.2.2.4 De nombreux savoirs sont institutionnalisés : une stabilisation fréquente du milieu par l'enseignant 180

11.2.2.5 L'intégration des savoirs dans la mésogénèse : différentes modalités de dévolution..... 181

11.2.2.6 Caractéristiques de la mésogénèse, vue des gestes de l'enseignant, de la séance A₁ : conclusion 183

11.2.3 Une chronogénèse « additive » d'énoncés majoritairement grammaticaux..... 183

11.2.3.1 Une succession de jeux rapidement joués, à chronogénèse accélérée 184

11.2.3.2 Un enseignement d'énoncés de type majoritairement grammatical..... 185

11.2.3.3 Caractéristiques de la chronogénèse de la séance A₁ : conclusion..... 186

11.2.4 Conclusions 186

11.3 La nature des savoirs enseignés 187

11.3.1 Les énoncés de langage courant : objets de problématisation..... 188

11.3.2 Les énoncés grammaticaux : objets d'enseignement de Physique lors de la séance A₁ 190

11.3.2.1 La définition de l'énergie 191

11.3.2.2 Le principe de conservation de l'énergie 193

11.3.2.3 La chaîne énergétique : un modèle implicite 195

11.3.2.4 Conclusions 197

11.3.3 Les énoncés empiriques : une visée éducative 199

11.3.3.1 Manipuler les énoncés grammaticaux vus auparavant pour produire des énoncés empiriques	199
11.3.3.2 Des énoncés empiriques pour la vie quotidienne	201
11.3.3.3 Des énoncés empiriques pour responsabiliser les élèves	202
11.3.3.4 Conclusions	205
11.4 Conclusion : un tableau de la pratique de l'enseignant A dans la séance A₁.....	206
11.4.1 Qu'est-ce qui est objet d'enseignement dans le jeu didactique ?	206
11.4.2 Comment le jeu didactique est-il joué ?	206
11.4.3 Quelle épistémologie pratique est mise en oeuvre ?	207
12. ANALYSE DE LA SÉANCE A₂	209
12.1. Construction des signes à partir du corpus principal - Synopsis de la séance ...	209
12.1.1 Le corpus principal : la bande-vidéo de la séance.....	209
12.1.2 Narration de la séance : structuration en thèmes et jeux d'apprentissage.....	209
12.1.3 Synopsis de la séance	214
12.2. Caractéristiques de la pratique de l'enseignant A dans la séance A₂.....	218
12.2.1 Une topogénèse majoritairement du côté de l'enseignant.....	218
12.2.1.1 Une responsabilité de l'enseignant dans l'avancée du savoir	218
12.2.1.2 Evolution de la topogénèse au cours de la séance A ₂	219
12.2.1.3 Une topogénèse du côté des élèves dans les épisodes où les nouveaux savoirs de physique ne sont pas mis en jeu / où des perspectives complémentaires sont mises en avant	220
12.2.1.4 Une topogénèse mixte quand les savoirs ou leurs applications font l'objet d'une construction conjointe, majoritairement dans une forme de communication interactive et autoritative.....	223
12.2.1.5 Une topogénèse du côté de l'enseignant dans les épisodes de définition des jeux et d'institutionnalisation des savoirs	224
12.2.1.6 Caractéristiques de la topogénèse de la séance A ₂ : conclusions	224
12.2.2 Une mésogénèse interactive, essentiellement entre l'enseignant et les élèves, dans laquelle de nombreux savoirs sont institutionnalisés à partir des propositions des élèves	225
12.2.2.1 Les types d'interaction majoritairement à l'initiative de l'enseignant et entre l'enseignant et les élèves	225
12.2.2.2 Les techniques didactiques « réguler » et « institutionnaliser » prédominant dans la gestion de la mésogénèse par l'enseignant.....	227
12.2.2.3 L'enseignant régule le jeu en apportant des éléments.....	227
12.2.2.4 De nombreux savoirs sont institutionnalisés	229
12.2.2.5 L'intégration des savoirs dans la mésogénèse : différentes modalités de dévolution.....	229
12.2.2.6 Caractéristiques de la mésogénèse, vue des gestes de l'enseignant, de la séance A ₂ : conclusions.....	231
12.2.3 Une chronogénèse « additive » d'énoncés majoritairement empiriques.....	231
12.2.3.1 Une succession de jeux rapidement joués, à chronogénèse accélérée	231
12.2.3.2 Un enseignement d'énoncés majoritairement de type empirique	233
12.2.3.3 Caractéristiques de la chronogénèse de la séance A ₂ : conclusions.....	234
12.2.4 Conclusions	234
12.3 La nature des savoirs enseignés	235
12.3.1 Des énoncés de langage courant pour problématiser	235
12.3.2 Les énoncés grammaticaux : des énoncés sur la nature de la science.....	238

12.3.2.1 Des énoncés sur les techniques de la science : la construction de la preuve du changement climatique.....	238
12.3.2.2 La modélisation	242
12.3.2.3 Un modèle de démarche scientifique	246
12.3.2.4 Conclusions	247
12.3.3 Les énoncés empiriques : produits d'un raisonnement causal-linéaire	247
12.3.3.1 Des énoncés empiriques qui mobilisent des énoncés grammaticaux.....	248
12.3.3.2 Des énoncés empiriques qui se jouent dans le jeu de langage de l'explication	250
12.3.3.3 Conclusions	254
12.3.4 Les énoncés empiriques : une visée éducative	255
12.3.4.1 Un changement climatique qualifié de « néfaste ».....	255
12.3.4.2 Les sciences et techniques comme solutions au changement climatique.....	256
12.3.4.4 Des énoncés empiriques qui engagent l'enseignant.....	258
12.3.4.5 Conclusions	261
12.4 Conclusion : un tableau de la pratique de l'enseignant A dans la séance A₂.....	262
12.4.1 Qu'est-ce qui est objet d'enseignement dans le jeu didactique ?.....	262
12.4.2 Comment le jeu didactique est-il joué ?	263
12.4.3 Quelle épistémologie pratique est mise en oeuvre ?	264
13. ANALYSE DE LA SÉANCE B₁	267
13.1. Construction des signes à partir du corpus principal - Synopsis de la séance ...	267
13.1.1 Le corpus principal : la bande-vidéo de la séance.....	267
13.1.2 Mise en récit de la séance : structuration en thèmes et jeux d'apprentissage	267
13.1.3 Synopsis de la séance	269
13.2. Caractéristiques de la pratique de l'enseignant B dans la séance B₁	272
13.2.1 Une topogénèse qui dépend des formes d'organisation sociale de la classe.....	272
13.2.1.1 Une responsabilité importante de l'enseignante dans l'évolution du milieu ...	272
13.2.1.2 Evolution des descripteurs permettant de caractériser la topogénèse de la séance B ₁	273
13.2.1.3 Une topogénèse du côté des élèves dans les épisodes où l'organisation sociale de la classe n'est pas « en classe entière » et où la forme de communication est essentiellement dialogique	275
13.2.1.4 Une topogénèse mixte quand les savoirs font l'objet d'une construction conjointe, majoritairement dans une forme de communication interactive et autoritative	276
13.2.1.5 Une topogénèse du côté de l'enseignante dans les épisodes de définition des jeux et d'institutionnalisation des savoirs	277
13.2.1.6 Caractéristiques de la topogénèse de la séance B ₁ : conclusions	278
13.2.2 Une mésogénèse contrastée, majoritairement interactive	278
13.2.2.1 Les types d'interaction majoritairement de deux types : à l'initiative de l'enseignante et entre l'enseignante et les élèves ou bien entre élèves	279
13.2.2.2 Les techniques didactiques « réguler » et « institutionnaliser » prédominant dans la mésogénèse.....	280
13.2.2.3 L'enseignante régule le milieu en y apportant des éléments.....	281
13.2.2.4 Des institutionnalisations en plusieurs temps.....	283
13.2.2.5 Des processus de dévolution à différentes échelles de temps, centrés surtout sur les tâches	284

13.2.2.6	Caractéristiques de la mésogénèse, vue depuis les gestes de l'enseignant, de la séance B ₁ : conclusions	285
13.2.3	Une chronogénèse « intégrative » d'énoncés majoritairement grammaticaux.....	285
13.2.3.1	Une chronogénèse « intégrative »	285
13.2.3.2	Un enseignement d'énoncés majoritairement grammaticaux	287
13.2.3.3	Caractéristiques de la chronogénèse de la séance B ₁ : conclusions	288
13.2.4	Conclusions	288
13.3	La nature des savoirs enseignés	290
13.3.1	Des énoncés de langage courant pour problématiser	290
13.3.2	L'enseignement d'énoncés grammaticaux : la construction d'une syntaxe épistémologique explicite.....	291
13.3.2.1	L'intégration de l'énergie dans un réseau conceptuel	292
13.3.2.2	Le concept, défini comme un rapport de la physique et des mathématiques ...	294
13.3.2.3	Un modèle d'utilisation des énoncés grammaticaux : le modèle simplifié de la chaîne énergétique	297
13.3.2.4	Conclusions	298
13.3.3	Une production d'énoncés empiriques à double fonction : utiliser les énoncés grammaticaux vus précédemment et construire de nouveaux énoncés grammaticaux	299
13.3.3.1	La production d'énoncés empiriques par groupe d'élèves	299
13.3.3.2	La production partagée d'énoncés empiriques	300
13.3.3.3	La production d'énoncés grammaticaux à partir des énoncés empiriques produits par les élèves	301
13.3.3.4	Conclusions	303
13.4	Conclusion : un tableau de la pratique de l'enseignante B dans la séance B₁	304
13.4.1	Qu'est-ce qui est objet d'enseignement dans le jeu didactique ?	304
13.4.2	Comment le jeu didactique est-il joué ?	305
13.4.3	Quelle épistémologie pratique est mise en oeuvre ?	306
14	ANALYSE DE LA SÉANCE B₂	309
14.1	Construction des signes à partir du corpus principal - Synopsis de la séance ...	309
14.1.1	Le corpus principal : la bande-vidéo de la séance	309
14.1.2	Mise en récit de la séance : structuration en thèmes et jeux d'apprentissage	309
14.1.3	Synopsis de la séance	311
14.2	Caractéristiques de la pratique de l'enseignante B dans la séance B₂.....	313
14.2.1	Une topogénèse majoritairement sous la responsabilité des élèves	313
14.2.1.1	Une prise en charge de l'évolution du milieu par les élèves	313
14.2.1.2	Evolution des descripteurs permettant de caractériser la topogénèse de la séance B ₂	314
14.2.1.3	Une topogénèse du côté des élèves dans les épisodes où l'organisation sociale de la classe n'est pas « en classe entière » - les formes de communication évoluent avec la tâche demandée aux élèves.....	315
14.2.1.4	Une topogénèse mixte, quand les savoirs font l'objet d'une construction conjointe ou à des fins de dévolution	317
14.2.1.5	Une topogénèse du côté de l'enseignante dans les épisodes de définition des jeux et d'institutionnalisation des savoirs	319
14.2.1.6	Caractéristiques de la topogénèse de la séance B ₂ : conclusions	319
14.2.2	Une mésogénèse constituée à partir d'échanges entre élèves, régulée par l'enseignante par introduction d'éléments dans le milieu, et peu dense en savoirs	320

14.2.2.1 Les types d'interaction majoritairement à l'initiative de l'enseignante et entre l'enseignante et les élèves	320
14.2.2.2 La technique didactique « réguler » prédomine dans la mésogénèse	322
14.2.2.3 L'enseignante régule le jeu en apportant des éléments au milieu	323
14.2.2.4 Peu d'institutionnalisations de savoirs	325
14.2.2.5 Différentes échelles de dévolution	325
14.2.2.6 Caractéristiques de la mésogénèse, vue depuis les gestes de l'enseignant de la séance B ₂ : conclusions	325
14.2.3 Une chronogénèse « intégrative » d'énoncés majoritairement empiriques.....	326
14.2.3.1 Une chronogénèse « intégrative »	326
14.2.3.2 Un enseignement d'énoncés empiriques	327
14.2.3.3 Caractéristiques de la chronogénèse de la séance B ₂ : conclusions	329
14.2.4 Conclusions	329
14.3 La nature des savoirs enseignés	330
14.3.1 L'enseignement d'énoncés grammaticaux : une syntaxe explicite sur le fonctionnement des technosciences	330
14.3.1.1 Le modèle de la conférence de citoyens.....	330
14.3.1.2 Les règles grammaticales du modèle	332
14.3.1.3 Les technosciences et la citoyenneté	333
14.3.1.4 Conclusion.....	335
14.3.2 La préparation du jeu de rôle : des énoncés empiriques chez les élèves et grammaticaux chez l'enseignante	336
14.3.2.1 Un apport d'énoncés grammaticaux par l'enseignante sur la forme des documents d'expertise.....	336
14.3.2.2 Des réactions contrastées des groupes d'experts face aux énoncés empiriques qui leur sont fournis.....	337
14.3.3 Le jeu de rôle : des situations de débat.....	339
14.3.3.1 L'exposé des élèves-experts du GIEC : la mobilisation d'énoncés empiriques	339
14.3.3.2 L'exposé des élèves-experts critiques du GIEC : la mobilisation d'énoncés grammaticaux	340
14.3.3.3 Un débat initié par les citoyens à l'issue des exposés des experts	342
14.3.3.4 Un débat initié par les citoyens lors de leur exposé	344
14.3.3.5 Conclusion.....	346
14.4. Conclusion : un tableau de la pratique de l'enseignante B dans la séance B₂	347
14.4.1 Qu'est-ce qui est objet d'enseignement dans le jeu didactique ?	347
14.4.2 Comment le jeu didactique est-il joué ?	347
14.4.3 Quelle épistémologie pratique est mise en oeuvre ?	348
15. CONCLUSION DES ANALYSES : UNE SYNTHÈSE.....	351
15.1 Séance A ₁	351
15.2 Séance A ₂	352
15.3 Séance B ₁	353
15.4 Séance B ₂	354

PARTIE 6 : DISCUSSION ET CONCLUSION 355

16. DISCUSSION DES RÉSULTATS 357

16.1 Discussion des résultats : une approche comparatiste 357

16.1.1 Comparaison des analyses de pratique de l'enseignant A dans les deux séances A ₁ et A ₂	358
16.1.1.1 Des éléments génériques dans les deux séances qui assurent la continuité dans la pratique de l'enseignant A.....	358
16.1.1.2 Des éléments spécifiques dans les deux séances.....	359
16.1.2 Comparaison des analyses de pratique de l'enseignante B dans les deux séances B ₁ et B ₂	361
16.1.2.1 Des éléments génériques dans les 2 séances qui assurent la continuité dans la pratique de l'enseignante B	361
16.1.2.2 Des éléments spécifiques dans les 2 séances	363
16.1.3 Tableau synoptique des épistémologies pratiques à partir des comparaisons des pratiques analysées	364
16.1.4 Comparaison des analyses de pratique sur les deux séances A ₁ et B ₁ sur l'énergie.....	366
16.1.4.1 Rappels épistémologiques et historiques sur l'énergie	366
16.1.4.2 Synopsis comparatif de la succession des thèmes abordés	366
16.1.4.3 Des éléments génériques à l'enseignement de l'énergie	368
16.1.4.4 Des éléments spécifiques à la pratique de l'enseignant	369
16.1.5 Comparaison des analyses de pratique sur les deux séances A ₂ et B ₂ sur le changement climatique.....	370
16.1.5.1 Rappels épistémologiques et historiques sur le changement climatique.....	370
16.1.5.2 Un élément générique à l'enseignement de/par le changement climatique : des énoncés empiriques majoritaires	371
16.1.5.3 Des éléments spécifiques à la pratique de l'enseignant	371
16.1.6 Discussion sur l'épistémologie pratique à partir des différentes comparaisons effectuées : une conclusion	372
16.1.6.1 L'épistémologie pratique : un couplage structurel avec les savoirs.....	372
16.1.6.2 Rôle de l'épistémologie pratique dans l'explicitation des freins / leviers qui permettrait une articulation de savoirs liés à la « science en action » et à la « science faite » dans la pratique d'un enseignant	374

16.2 Discussion des résultats : une approche critique..... 374

16.2.1 Un travail centré sur le rôle de l'enseignant dans l'action conjointe... mais des pistes de réflexion sur l'apprentissage des élèves	375
16.2.1.1 Action conjointe et situation d'apprentissage sur l'effet de serre	375
16.2.1.2 Les conceptions sur la couche d'ozone et le changement climatique	376
16.2.1.3 Les conceptions sur l'énergie	376
16.2.2 L'analyse des pratiques des enseignants : un apport dans le champ des controverses socioscientifiques	377
16.2.2.1 Les pratiques enseignantes peu étudiées	377
16.2.2.2 L'épistémologie pratique en tant que déterminant de l'action enseignante	378
16.2.3 L'analyse des pratiques des enseignants : un apport dans le champ de l'enseignement de l'énergie.....	378
16.2.4 Un regard critique sur la méthodologie utilisée	379
16.2.4.1 Une difficulté de chercheur : la transposition d'outils conceptuels en outils opératoires	379
16.2.4.2 Le « réel » est complexe : une grille par essence incomplète	380

16.2.5 Un regard critique sur les modifications apportées aux cadres théoriques utilisés.	381
16.2.5.1 la théorie implicite de l'éducation en tant que dimension de l'épistémologie pratique et la question des valeurs.....	381
16.2.5.2 la distinction énoncés grammaticaux / empiriques en tant que descripteurs de la mésogénèse et de la chronogénèse	382
16.2.5.3 L'analyse des jeux de langage.....	383
17. CONCLUSION.....	385
17.1 Rappels des principaux résultats	385
17.2 Perspectives envisagées	386
BIBLIOGRAPHIE	389
TABLE DES MATIÈRES	403

Ce volume constitue le Tome 1 de la thèse

Analyses de pratiques d'enseignement de savoirs de la physique stabilisés (l'énergie) et controversés (le changement climatique)

Résumé :

L'importance que prend aujourd'hui l'expertise scientifique et technique dans la prise de décisions politiques questionne à la fois la figure du scientifique et celle du citoyen. Comment apprendre à participer à la prise de décisions politiques en mobilisant des expertises scientifiques ? Dans ce cadre, l'enseignement des sciences et des techniques est critiqué car il s'occupe davantage de la « science faite » (les faits scientifiques) que de la science « en action » (une activité sociale de construction de faits).

Ce travail de thèse s'inscrit dans les courants de recherche SSI (Socioscientific Issues) et QSV (Questions socialement vives) dont l'ambition est d'éduquer le citoyen à « négocier » avec le développement contemporain des technosciences.

L'objectif de ce travail est d'étudier quelques conditions d'intégration de la science en action dans les pratiques effectives d'enseignement, en s'intéressant à la manière dont deux enseignants de Physique enseignent l'énergie, qui est un savoir stabilisé, et le changement climatique, qui est controversé.

Cette analyse se structure autour de la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD), qui est complétée par l'analyse communicationnelle et des jeux de langage, qui permet de décrire l'action des enseignants en classe. Cette thèse propose par conséquent une description de séances d'enseignement sur des savoirs au statut contrasté et compare les épistémologies pratiques des enseignants (intrication de théories plus ou moins implicites sur l'enseignement / apprentissage, sur les savoirs et sur la science, sur l'éducation) conçues comme des déterminants de l'action conjointe.

L'intérêt de ce travail consiste à documenter les pratiques effectives d'enseignants de la Physique sur des thèmes peu abordés. Ce travail propose en outre d'intégrer une dimension éducative à l'épistémologie pratique et de caractériser les savoirs enseignés à l'aide d'une description des jeux de langage.

Mots-clés :

Didactique de la physique – Analyse de pratiques enseignantes – Épistémologie pratique – Jeux de langage – Questions socialement vives (QSV) –