

Etude des pratiques d'enseignement des savoirs de l'épistémologie en classe de physique de lycée général

Lionel Pélissier Pelissier

▶ **To cite this version:**

Lionel Pélissier Pelissier. Etude des pratiques d'enseignement des savoirs de l'épistémologie en classe de physique de lycée général. Education. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2011. Français. NNT : 2011TOU20136 . tel-00728016

HAL Id: tel-00728016

https://theses.hal.science/tel-00728016

Submitted on 4 Sep 2012

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 :
Lionel PELISSIER
Le mercredi 7 décembre 2011

Titre :

Etude de pratiques d'enseignement de savoirs de l'épistémologie en classe de physique de lycée général

---

ED CLESCO : Sciences de l'éducation

Unité de recherche :
UMR Education, Formation, Travail, Savoirs

Directeur(s) de Thèse :

M. Patrice VENTURINI, Professeur, Université Toulouse 2 Le Mirail

Rapporteurs :

Mme Andrée TIBERGHIEN, Directrice de Recherche Emérite, CNRS
Mme Laurence MAURINES, Professeur, Université Paris 11 Sud

Autre(s) membre(s) du jury :

M. Marc BRU, Professeur, Université Toulouse 2 Le Mirail
M. Patrice VENTURINI, Professeur, Université Toulouse 2 Le Mirail

Parce que la recherche est un travail de construction collective dont on ne peut jamais identifier tous les acteurs, je tiens au terme de cette aventure à remercier tous ceux qui ont participé ou tout simplement rendu possible ce travail.

Merci à M. Patrice Venturini, qui a dirigé ce travail et m'a permis par son soutien et sa confiance indéfectibles dans les pires moments de doutes de le mener à son terme. Merci pour ta patience alliée à ta rigueur, ton expertise et tes qualités humaines tapies dans une distance bienveillante.

Je remercie Mmes Andrée Tiberghien et Laurence Maurines qui m'ont fait l'honneur d'être les rapporteurs de cette thèse.

Mes sincères remerciements vont aussi à M. Marc Bru qui a accepté de faire partie du jury : vos commentaires sur mon travail de DEA et sur la progression de ce travail de thèse font partie des facteurs importants qui m'ont à chaque fois enrichi et encouragé à progresser.

Merci à Chantal Amade-Escot pour la chaleureuse bienveillance avec laquelle elle accompagne tous les thésards de l'équipe.

Merci à tous mes collègues avec qui nous avons traversé quelques turbulences ces dernières années : votre amitié et votre bonne humeur m'ont permis de tenir le cap. Merci aussi à Jacques et Ludovic pour tous les échanges que nous avons eus, bien au-delà des entretiens prévus dans la méthodologie.

Enfin, milles merci à toi, Caroline et à nos trois terribles, pour votre présence et votre soutien sans faille et de tous les instants.

A mon père, parti trop tôt en ce début de printemps : j'ai retrouvé dans tes archives d'autodidacte un exemplaire annoté de « *la formation de l'esprit scientifique* » à propos duquel nous n'avons jamais parlé…

Sommaire

TABLE DES MATIERES 7

INTRODUCTION 15

PARTIE 1 : OBJET ET CADRE DE L'ETUDE 21

CHAPITRE 1 : EPISTEMOLOG(IE(S))(Y) ? : DOMAINES DE DEFINITION 23
CHAPITRE 2 : L'EPISTEMOLOGIE DANS LES PROGRAMMES DE SCIENCES 45
CHAPITRE 3 : LA TRANSMISSION DES SAVOIRS DE L'EPISTEMOLOGIE 69
CHAPITRE 4 : PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT ET « RAPPORT AUX OBJETS DE SAVOIR » DANS LA THEORIE ANTHROPOLOGIQUE DU DIDACTIQUE 95

PARTIE 2 : CONCEPTION DE L'ETUDE 107

CHAPITRE 5 : PROBLEMATIQUE, HYPOTHESES ET QUESTIONS DE RECHERCHE 109
CHAPITRE 6 : POINTS DE REPERES EN EPISTEMOLOGIE CONTEMPORAINE DE LA PHYSIQUE 123
CHAPITRE 7 : METHODOLOGIE DE RECUEIL ET D'ANALYSE DES DONNEES 167

PARTIE 3 : RESULTATS 191

PRESENTATION DES RESULTATS 193
ANALYSE A PRIORI DU THEME COMMUN AUX ENSEIGNANTS A ET B 197
ENSEIGNANT A 203
ENSEIGNANT B 233
ENSEIGNANT C 265

CONCLUSION ET DISCUSSION 290

BIBLIOGRAPHIE 312

TABLE DES MATIERES 321

Table des matières

TABLE DES MATIERES 7

INTRODUCTION 15

PARTIE 1 : OBJET ET CADRE DE L'ETUDE 21

CHAPITRE 1 : EPISTEMOLOG(IE(S))(Y) ? : DOMAINES DE DEFINITION 23

1 EPISTEMOLOGY 23
2 EPISTEMOLOGIE DES SCIENCES 24
2.1 APPROCHE INTERNALISTE 27
2.2 APPROCHE EXTERNALISTE 28
3 NATURE OF SCIENCE 29
4 QUELQUES JALONS DE L'EVOLUTION DE LA PENSEE EN EPISTEMOLOGIE 33
4.1 LE RATIONALISME 35
4.2 L'EMPIRISME 36
4.3 L'INDUCTIVISME SOPHISTIQUE 38
4.4 LE POSITIVISME 40
4.5 LE NEOPOSITIVISME 43
4.6 LE REALISME 44

CHAPITRE 2 : L'EPISTEMOLOGIE DANS LES PROGRAMMES DE SCIENCES 45

1 LE CAS DES ÉTATS-UNIS 45
2 LES PRESCRIPTIONS ACTUELLES DANS LES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES EN FRANCE 51
2.1 MODELE ET ACTIVITE DE MODELISATION 53
2.2 EXPERIMENTATION 54
2.3 DE L'ARTICULATION ENTRE MODELISATION ET EXPERIMENTATION 54
2.4 DU CARACTERE SPECULATIF ET EVOLUTIF DES CONNAISSANCES 55
3 EPISTEMOLOGIE ET METHODES D'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES 57
4 L'EPISTEMOLOGIE COMME VECTEUR DE LA CULTURE SCIENTIFIQUE 59

5 POINTS DE VUE DES ELEVES SUR LA NATURE DE LA SCIENCE 62

CHAPITRE 3 : LA TRANSMISSION DES SAVOIRS DE L'EPISTEMOLOGIE 69

1 TRANSMISSION IMPLICITE 70
1.1 À TRAVERS L'IMPLICATION DES ETUDIANTS DANS DES ACTIVITES DE RECHERCHE EN LABORATOIRE 70
1.2 A TRAVERS LES ACTIVITES MENEES EN CLASSE. 71
1.3 A TRAVERS LE DISCOURS ORDINAIRE DE L'ENSEIGNANT 73
2 TRANSMISSION EXPLICITE 74
3 POINTS DE VUE DES ENSEIGNANTS SUR LA NATURE DE LA SCIENCE 77
4 CONCEPTIONS DES ENSEIGNANTS SUR LA NATURE DE LA SCIENCE ET PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES 82
5 RELATIONS ENTRE LES CONCEPTIONS DES ENSEIGNANTS SUR LA NATURE DE LA SCIENCE ET SUR SON ENSEIGNEMENT. 86
6 VERS UNE RELATION DUALE ENTRE PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES ET CONCEPTIONS DE LA NOS 91

CHAPITRE 4 : PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT ET « RAPPORT AUX OBJETS DE SAVOIR » DANS LA THEORIE ANTHROPOLOGIQUE DU DIDACTIQUE 95

1 LE SAVOIR COMME OBJET 95
2 RAPPORT PERSONNEL A UN OBJET 96
3 RAPPORT INSTITUTIONNEL 97
4 COMPOSANTES PUBLIQUES ET PRIVEES DU RAPPORT AU SAVOIR 98
5 L'ANALYSE DES PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT VIA L'ETUDE DES PRAXEOLOGIES 100
5.1 LES PRAXEOLOGIES DISCIPLINAIRES 101
5.1.1 La praxis (tâche-technique) 101
5.1.2 Le logos (technologie-théorie) 102
5.2 LES PRAXEOLOGIES DIDACTIQUES 104

PARTIE 2 : CONCEPTION DE L'ETUDE 107

CHAPITRE 5 : PROBLEMATIQUE, HYPOTHESES ET QUESTIONS DE RECHERCHE 109

1 L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES PHYSIQUES CONTRIBUE AU MOINS POUR PARTIE AUX CONCEPTIONS DES ELEVES SUR LA NATURE DE LA SCIENCE 110
2 L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES PHYSIQUES EN FRANCE DANS LE SECONDAIRE DOIT PERMETTRE AUX

ELEVES DE COMPRENDRE CE QU'EST LA SCIENCE 111
2.1 DES SAVOIRS DE REFERENCE ET DES SAVOIRS A ENSEIGNER PEU PRECIS 111
2.2 DEUX MODALITES POSSIBLES DE TRANSMISSION DE L'EPISTEMOLOGIE EN CLASSE 113
2.2.1 L'épistémologie pourrait être implicite à l'enseignement de la physique. 113
2.2.2 L'épistémologie pourrait faire l'objet d'une intention didactique 114
2.2.3 L'intention didactique relative à l'épistémologie pourrait être instanciée dans les savoirs de la physique à enseigner 115
3 HYPOTHESES ET QUESTION DE RECHERCHE 117
3.1 LES SAVOIRS DE L'EPISTEMOLOGIE ENSEIGNES CONSTITUENT LA COMPOSANTE PUBLIQUE DU RAPPORT DE L'ENSEIGNANT A CES OBJETS 117
3.2 LES PRAXEOLOGIES DISCIPLINAIRES DE L'EPISTEMOLOGIE EN LIEN AVEC LES PRAXEOLOGIES DIDACTIQUES DE LA PHYSIQUE. 118

CHAPITRE 6 : POINTS DE REPERES EN EPISTEMOLOGIE CONTEMPORAINE DE LA PHYSIQUE 123

1 LA PHYSIQUE COMME PARADIGME EPISTEMOLOGIQUE DES SCIENCES EMPIRIQUES 123
2 À PROPOS DES THEORIES 126
2.1 LES THEORIES COMME STRUCTURES. 129
2.2 LES THEORIES COMME VERITE SUR LE MONDE. 131
2.3 RAPPORT D'UNE THEORIE A SON OBJET 132
2.4 FONCTIONNEMENT D'UNE THEORIE DANS LA SCIENCE NORMALE 132
3 A PROPOS DES LOIS 135
3.1 DEFINITION D'UNE LOI SCIENTIFIQUE 137
3.2 LE RAPPORT D'UNE LOI AUX FAITS 139
3.3 FONCTIONNEMENT DES LOIS DANS L'EXPLICATION SCIENTIFIQUE 140
4 DE L'OBSERVATION ET DE L'EXPERIMENTATION 141
5 DES HYPOTHESES 145
6 A PROPOS DES MODELES ET DE LA MODELISATION 147
6.1 NATURE, CARACTERISTIQUES, TYPES ET FONCTIONS DU MODELE 148
6.2 LE MODELE APPARTIENT AU MONDE (DE LA) PHYSIQUE 149
6.3 LE MODELE EST « MODELE D'UNE SITUATION PHYSIQUE » 150
6.4 LE MODELE EST FIGURATIF OU ABSTRAIT, ET SERT A MONTRER 150
6.5 LE MODELE SERT A EXPLIQUER OU INTERPRETER 153

6.6 LE MODELE SERT A PREDIRE 154
6.7 LE MODELE VERIFIE LE PRINCIPE DU TIERS EXCLUS 154
6.8 MODELE ARCHETYPIQUE ET COHERENCE EXTERNE 155
6.9 L'ACTIVITE DE MODELISATION EN PHYSIQUE 156
6.9.1 Simplification du réel et enrichissement théorique 156
6.9.2 Limite de validité et évolution des modèles 158
6.9.3 Recherche d'analogies 159
7 THEORIE ET MODELE 160
7.1 DIFFERENCES ET SIMILITUDES 160
7.2 FONCTIONNEMENT DU MODELE DANS LA THEORIE 161
7.2.1 Fonctionnement à l'intérieur de la théorie 161
7.2.2 Fonctionnement en rapport à la situation réelle 162
8 MODELES D'ELABORATION DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES 163

CHAPITRE 7 : METHODOLOGIE DE RECUEIL ET D'ANALYSE DES DONNEES 167

1 CHOIX DU NIVEAU D'ENSEIGNEMENT 167
2 CHOIX DES 3 ENSEIGNANTS DE L'ETUDE 168
2.1 L'ENSEIGNANT A. 169
2.2 LES ENSEIGNANTS B ET C 172
3 LE RECUEIL DES DONNEES 174
3.1 LES OBSERVATIONS DE SEANCE 174
3.1.1 Contenus et durées des séances 174
3.1.2 Dispositif technique 174
3.2 LES ENTRETIENS 175
3.2.1 L'entretien ante-séance 175
3.2.2 Les entretiens post-séance 177
3.2.3 Les entretiens post-analyse 177
4 LE TRAITEMENT DES DONNEES 178
4.1 L'ANALYSE A PRIORI DE LA SEANCE 178
4.2 SYNOPSIS DE SEANCE A L'ECHELLE MESOSCOPIQUE : LE DECOUPAGE DE LA SEANCE EN TACHES. 178
4.3 L'ANALYSE DES TACHE A L'ECHELLE MICROSCOPIQUE 181
4.4 LA PRISE EN COMPTE DES ANOMALIES 183
4.5 LES CARACTERISTIQUES DU SAVOIR EPISTEMOLOGIQUE ENSEIGNE 183

4.5.1 Les niveaux d'explicitation des concepts 183
4.5.2 La grille d'analyse des savoirs épistémologiques 185

PARTIE 3 : RESULTATS 191

PRESENTATION DES RESULTATS 193

1 L'ANALYSE A PRIORI DU THEME FAISANT L'OBJET DE LA SEANCE OBSERVEE : 193
2 L'ANALYSE DES PRATIQUES : 193
2.1 NARRATION CHRONOLOGIQUE 193
2.2 L'ETUDE DES PRAXEOLOGIES 193
2.2.1 Niveau des types de tâches en lien avec les savoirs épistémologiques en jeu dans la séance 194
2.2.2 Niveau du discours de l'enseignant et des interactions avec les élèves 194
2.2.3 Le rapprochement des deux échelles d'analyses 195

ANALYSE A PRIORI DU THEME COMMUN AUX ENSEIGNANTS A ET B 197

2.3 LE PROGRAMME 197
2.4 LES SAVOIRS DE L'EPISTEMOLOGIE A ENSEIGNER 198

ENSEIGNANT A 203

2.5 LES INTENTIONS DE L'ENSEIGNANT 204
3 ANALYSE DE LA SEANCE 205
3.1 NARRATION CHRONOLOGIQUE 205
3.2 ANALYSE EN TACHES/TECHNIQUES 207
3.2.1 Tableau synoptique 208
3.2.2 Détail de l'analyse 211
3.3 ANALYSE DU DISCOURS 223
3.3.1 Concepts épistémologiques attendus : modèle et modélisation 223
3.3.2 En relation avec d'autres concepts épistémologiques 225
3.3.3 Synthèse - Comparaison des deux niveaux d'analyse 230

ENSEIGNANT B 233

1 ANALYSE A PRIORI 233
1.1 LES INTENTIONS DE L'ENSEIGNANT 233

2 ANALYSE DE LA SEANCE 234
2.1 NARRATION CHRONOLOGIQUE 235
2.2 SYNOPSIS 238
2.3 RESULTATS A L'ECHELLE MESOSCOPIQUE 241
2.3.1 Détails de l'analyse et commentaires 242
2.3.2 Synthèse des résultats à l'échelle mésoscopique 255
2.4 RESULTATS A L'ECHELLE MICROSCOPIQUE 259
2.4.1 Concepts attendus dénommés par l'enseignant 259
2.4.2 Autres concepts épistémologiques 261

ENSEIGNANT C 265

1 ANALYSE A PRIORI 265
1.1 LE PROGRAMME 265
1.2 LES SAVOIRS DE L'EPISTEMOLOGIE A ENSEIGNER 266
1.3 LES INTENTIONS DE L'ENSEIGNANT 267
2 ANALYSE DE LA SEANCE 269
2.1 NARRATION CHRONOLOGIQUE 269
2.2 SYNOPSIS DE LA SEANCE 273
2.3 ANALYSE A L'ECHELLE MESOSCOPIQUE 276
2.4 ANALYSE MICROSCOPIQUE 282
2.5 SYNTHESE DES RESULTATS 285
2.5.1 A l'échelle mésoscopique 285
2.5.2 A l'échelle microscopique 286

CONCLUSION ET DISCUSSION 290

1 SYNTHESE, ANALYSE COMPAREE ET INTERPRETATION DES RESULTATS 290
1.1 TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS 290
1.2 TACHES EN ŒUVRE DANS LES SEANCES 292
1.3 ANALYSE MICROSCOPIQUE ET ARTICULATION DES DEUX ECHELLES D'ANALYSE 295
1.4 L'INFLUENCE DU CONTEXTE D'ENSEIGNEMENT ET RELATIONS AUX INSTITUTIONS DE FORMATIONS ET DE RECHERCHE EN DIDACTIQUE. 297
2 APPORTS ET LIMITES DE CETTE RECHERCHE. 301
2.1 AU NIVEAU METHODOLOGIQUE 301
2.2 PAR RAPPORT AUX RECHERCHES PRECEDENTES 303

2.3 LA PART SUBJECTIVE DU CHERCHEUR 305
3 PERSPECTIVE ET DEVELOPPEMENT 306
3.1 EN TERME DE RECHERCHE 306
3.2 EN TERME DE FORMATION DES ENSEIGNANTS 307

BIBLIOGRAPHIE 312

TABLE DES MATIERES 321

INTRODUCTION

Les questions de nature épistémologique en relation avec les savoirs à enseigner à des élèves occupent plus ou moins de manière récurrente mes réflexions depuis les débuts de l'exercice de mon métier d'enseignant dans les classes du secondaire, puis de celui de formateur en IUFM, et croisent inévitablement celles qui sont plus largement de l'ordre du « comment enseigner », au point qu'il m'est difficile de les dissocier et d'identifier laquelle de ces deux préoccupations est première.

Lorsqu'on essaye d'investir la question du comment on pourrait enseigner que « le mouvement des électrons est accéléré ou retardé en présence d'un champ électrique uniforme », on est assez vite saisi du niveau d'abstraction auquel se situe ce savoir. Il est question de vitesse et d'accélération des électrons, donc de la manière dont un corps se déplace au cours du temps, de manière analogue au mouvement de chute d'une balle. La compréhension que l'on peut avoir de la vitesse et de l'accélération est assez communément partagée, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur de la communauté scientifique.

Un peu moins largement diffusée est ce que l'on pourrait considérer comme la « cause » de la modification du mouvement, identifiée dans la force de Coulomb qui s'applique à l'électron et dont l'effet est expliqué par la seconde loi de Newton. Ces savoirs-là que les étudiants rencontrent en cours de physique ne posent pas particulièrement de difficultés en soi du point de vue des procédures qu'ils doivent savoir résoudre pour réussir leurs examens. La raison en est que la difficulté du travail de modélisation qui caractérise l'activité

scientifique est totalement absente : il s'agit là de s'approprier un modèle sous toutes ses déclinaisons possibles. Ainsi la simplicité de la formulation du savoir, fruit d'un formidable travail de transposition didactique dans l'institution scolaire ou universitaire dissimule mal les questions abyssales qu'elle laisse en suspens : par exemple, que sont ces électrons et qu'est-ce qu'un champ ? L'aisance dans la compréhension de ces deux points n'est pas aussi partagée que précédemment, et serait plutôt cantonnée du côté des scientifiques conduits par leur activité quotidienne à utiliser et expliciter ces concepts.

Comme le montre Bachelard (1938) à travers le concept d'*obstacle épistémologique*, entrer dans le discours scientifique nécessite une « *rupture de fond* » avec le « *sens commun* », une véritable révolution qui fait passer dans un monde tellement différent que ses caractéristiques sont à la limite incommensurables avec l'ancien, concept qui trouvera son extension à travers celui de « *révolution scientifique* » dans la sociologie des sciences (Kuhn, 1983). Ce sont sans doute les problématiques épistémologiques de la « révolution » qui devraient sous-tendre la réflexion didactique car les élèves ne sont jamais réellement de plain-pied dans ce monde des scientifiques où l'activité de production des connaissances suppose l'adaptation par ses membres d'un langage commun, avec tout ce qu'il a d'insignifiant pour celui qui n'y appartient pas. Or, seul le scientifique, rompu à la pratique de l'activité scientifique avec constance peut avoir une intuition de tout l'entraînement et l'expérience, la méthode, la stratégie et l'imagination qu'elle réclame. Pourtant, la proximité avec cette activité peut ne pas lui permettre d'en distinguer les traits les plus généraux quand il devient nécessaire de porter un jugement global sur son activité et la décrire au néophyte : quels sont les buts de la science, c'est-à-dire les intentions et les objectifs caractéristiques que la recherche scientifique se donne en propre ? Si on demande à un scientifique quelles sont les fins qu'il s'assigne, il indiquera les aspects particuliers de la nature qu'il tente d'expliquer, considérera que nous comprenons les tâches universelles d'explication de la science et n'attirera l'attention que sur les traits caractéristiques de ses propres investigations. C'est en cela que la nécessité d'une clarification des objectifs et méthodes récurrentes de la science pourrait contribuer ainsi à abaisser l'obstacle que représente le passage d'un univers non scientifique à un univers scientifique. Cela pourrait

être surtout vrai pour de très jeunes enfants, ou dans des environnements culturels défavorables, où, par exemple, les approches magiques sont encore fortement structurantes (Joshua & Dupin, 2003), ou encore quand le travail de dissociation des champs scientifiques et ceux relatifs aux croyances diverses est nécessaire. Ces questions sont depuis longtemps très vives notamment dans le domaine de l'enseignement de la biologie dans les pays anglo-saxons à propos de la théorie de l'évolution des espèces de Darwin (Picq, 2007).

Dans le cadre de la préparation du DEA précédant cette thèse, nous avions commencé à investir ce vaste problème à travers une recherche sur les relations entre les conceptions sur l'« élaboration du savoir en physique » et les pratiques déclarées chez des professeurs stagiaires de sciences physiques. Ce travail ne « demandait » qu'à être poursuivi en raison de la multitude et de la complexité des questions qu'il laissait sans réponse, et de l'importance grandissante des questions épistémologiques dans l'enseignement des sciences, qui dépasse largement le champ de la physique.

Cette recherche porte sur l'enseignement de l'épistémologie de la physique en classe de lycée général. Elle concerne l'étude des pratiques d'enseignement de savoirs de l'épistémologie en physique, savoirs qui renvoient au statut et au fonctionnement de la science physique, non pas en tant que discipline d'enseignement particulière, mais à travers l'enseignement de savoirs « classiques » de la physique à ce niveau, conformément aux objectifs généraux des programmes. Les instructions officielles en France, dans la manière de légitimer et de présenter ce que l'on attend de l'enseignement de la physique permettent d'identifier une dimension épistémologique aussi récurrente qu'ambiguë. Deux aspects peuvent être compris comme fondement de l'importance de l'épistémologie dans l'enseignement des sciences : un aspect relatif aux approches constructivistes de l'enseignement des sciences, et l'autre relatif à la transposition des pratiques effectives de la science :

D'un côté, la prise en compte de l'existence dans les modes de pensée des élèves

d'obstacles à la construction des connaissances scientifiques a conduit les recherches en didactique des sciences expérimentales à étayer une perspective constructiviste pour améliorer l'efficacité de l'enseignement (Vérin, 1998)[1]. Cette approche repose sur le principe d'une similitude de démarche entre la construction de connaissances chez l'apprenant et la construction des connaissances dans l'activité scientifique, selon ce que l'épistémologie contemporaine nous en dit (Astolfi & Peterfalvi, 1997) : le savoir scientifique est une construction intellectuelle, résulte de processus, cheminements et démarches complexes, et non d'une accumulation de résultats objectifs et définitifs pourvus de quelque vérité intemporelle et absolue. Ces orientations constructivistes ont conforté l'idée de s'inspirer de ces caractéristiques du travail scientifique comme fil conducteur dans la transformation de l'enseignement des sciences, même s'il n'est pas toujours explicite (Gil-Pérez, 1993). Mais ce type d'enseignement nécessite un changement radical chez les enseignants à la fois de leurs conceptions de l'apprentissage et des façons d'enseigner (Robardet, 1997).

De l'autre côté, même simplifiée, transposée à un niveau d'enseignement donné, la physique n'est pas un savoir spontané quelconque. Elle est le représentant de toute la science, de plusieurs siècles de théories et d'expériences accumulées, et elle existe en classe parce qu'elle a été validée ailleurs, dans la communauté scientifique. Les élèves doivent apprendre au-delà des résultats de la production de l'activité scientifique au cours de son histoire de quelle nature sont ces connaissances produites, quel est leur statut et comment elles sont élaborées.

Si ces deux aspects sont distincts dans leurs finalités, ils ont en commun l'appui que représente une culture épistémologique de la discipline pour l'enseigner. Les recherches en didactique ont porté jusqu'ici en France essentiellement sur le premier aspect. Nous nous

[1] Les numéros 16 et 17 d'Aster sont centrés sur ces questions.

proposons de nous centrer sur l'autre, et à cette fin sur l'identification de la nature des savoirs épistémologiques ainsi effectivement enseignés et des connaissances mobilisées par les enseignants à cet effet.

Dans ce travail, une première partie est consacrée aux choix théoriques adoptés pour conduire cette recherche. Dans un premier chapitre, nous précisons d'abord dans un souci de clarification, ce que nous entendons par les termes d'épistémologie et de nature de la science, et en quoi ils renvoient au statut des connaissances scientifiques et aux pratiques effectives de la science qui président à l'élaboration de ces connaissances.

Dans un deuxième chapitre, nous présenterons ce que les institutions chargées de l'enseignement des sciences recommandent à ce sujet du point de vue de ce que les élèves doivent savoir, tant en France, en Europe et aux Etats-Unis. Enfin, parce que le caractère didactique de ce travail nous y invite, nous présenterons un ensemble de travaux réalisés depuis une cinquantaine d'années sur les points de vue des élèves à propos de la nature de la science, et qui montrent de manière récurrente que les élèves possèdent des conceptions bien identifiables sur la nature de la science qui sont et restent éloignées des savoirs de référence en la matière, références prises dans le champ de l'épistémologie tout autant que dans les objectifs scolaires.

Un troisième chapitre amorce le contexte problématique de la recherche par une revue de questions sur la transmission en contexte scolaire des savoirs épistémologiques dans les classes de science à l'occasion d'enseignements spécifiques en la matière ou à travers les pratiques ordinaires d'enseignement. Ces travaux font tous reposer leur légitimité sur les conceptions récurrentes des élèves. Ce problème a conduit depuis quelques années les chercheurs à s'interroger sur les pratiques d'enseignement des professeurs de science, ainsi que sur leurs conceptions sur la nature de la science, et les relations entre ces deux aspects. Les relations entre les conceptions des enseignants sur la nature de la science et sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences pour pouvoir comprendre les pratiques

d'enseignement constitueront le point d'appui théorique le plus abouti. Ces différents jalons nous permettront enfin d'exposer notre problématique et voir quelles sont les questions de recherche auxquelles nous avons essayé d'apporter des réponses, en nous limitant au versant enseignement du processus d'enseignement - apprentissage.

Nous aborderons la partie empirique de la recherche dans une deuxième partie, en début de laquelle seront présentés dans un premier chapitre les principaux choix méthodologiques en rapport avec les questions posées. Cette méthodologie étant centrée sur des observations de pratiques d'enseignement de la physique dans le secondaire, nous spécifierons par conséquent le cadre d'analyse de ces observations, autrement dit les méthodes et techniques employées pour accéder aux savoirs épistémologiques enseignés en classe de physique et aux connaissances mobilisées par les professeurs.

Les chapitres suivants exposeront respectivement les résultats concernant chacune des études de cas, et une discussion des résultats tentera de dégager des éléments d'ordre génériques et spécifiques pour la compréhension de l'acte d'enseignement des savoirs épistémologiques avant d'envisager des perspectives pour les recherches à venir et pour la formation des enseignants.

Partie 1 : Objet et cadre de l'étude

Chapitre 1 : Epistémolog(ie(s))(y) ? : Domaines de définition

Chapitre 2 : L'épistémologie dans les programmes de sciences

Chapitre 3 : La transmission des savoirs de l'épistémologie

Chapitre 4 : Pratiques d'enseignement et rapports aux objets de savoir dans la TAD

Chapitre 1 : Epistémolog(ie(s))(y) ? : domaines de définition

Notre préoccupation étant de nature didactique, à savoir d'étudier la place de l'épistémologie dans l'enseignement des sciences, il nous semble ainsi nécessaire de commencer par préciser le sens auquel renvoie notre utilisation de ce terme, par rapport à la signification employée dans les articles de langue anglaise qui constituent le cadre de cette recherche.

1 Epistemology

Nous avons puisé la plus grande partie du cadre théorique didactique de cette recherche dans les résultats issus des travaux anglo-saxons sur l'enseignement de l'épistémologie (Chapitre 3), qui constituent les références actuelles dans ce domaine. Ce terme a, en anglais, une signification différente de celle qui est couramment utilisée en français. Traditionnellement, le terme d'« épistémologie » en langue française est, selon les cas, soit une étude sur la connaissance en général, soit une étude sur un mode de connaissance particulier que constitue la science. La littérature utilisée dans cette partie est constituée d'articles ou d'ouvrages en langue française et anglaise concernant l'épistémologie et l'enseignement de l'épistémologie, dans laquelle le terme d' « épistémologie » voisine ceux d' « epistemology » et de « nature of science » dont les définitions ne se recouvrent pas parfaitement.

L'épistémologie constitue une part de la philosophie qui construit un savoir sur la manière dont les savoirs se construisent et s'emploient à déterminer les conditions de nos connaissances (Fourez, 1996, p.16) : elle recherche par le moyen de la logique, comme recherche des règles générales et formelles qui conduisent à la connaissance, à répondre aux questions relatives à la nature de la vérité, la valeur de différentes méthodes (induction, déduction, généralisation, …) d'accès à la connaissance, la pertinence des preuves avancées, la place du sujet et de l'objet dans la connaissance, le rôle des théories, de l'observation, des explications, etc. Par l'utilisation du terme « *epistemology* », les anglo-saxons privilégient cette acception synonyme de « théorie analytique de la connaissance », qu'elle soit de nature « scientifique » ou non. Le terme utilisé en langue française qui répond à cette définition est celui de « gnoséologie ».

Mais le terme d' « épistémologie » employé ici dans le même sens que celui d' « epistemology » relève d'inspirations et d'usages multiples et évolutifs :

> « *Différentes manières de concevoir et de pratiquer l'épistémologie coexistent, souvent hétérogènes, et parfois antagonistes. Aussi est-il difficile de donner une définition de l'épistémologie qui permette de saisir immédiatement ce dont il est question et de décider sans ambiguïté, en présence d'un discours donné, s'il appartient ou non à l'épistémologie (Soler, 2000, p.14).* »

Les didactiques par exemple, en raison de leurs finalités, leurs fondements et leurs héritages, se sont emparées elles aussi légitimement de ce terme pour construire des concepts comme ceux d' « épistémologie scolaire », d' « épistémologie pratique » et d' « épistémologie du professeur » qui se recoupent tout en étant liés à des approches différentes.

2 Epistémologie des sciences

L'acception du terme « épistémologie » qui nous préoccupe au premier chef et dans laquelle nous nous inscrivons pour ce travail est plus restrictive que la précédente puisqu'elle ne concerne que les connaissances scientifiques : l'épistémologie est alors du domaine de la philosophie des sciences –d'où le vocable usuel d' « épistémologie des sciences »- qui

considère la manière dont les savoirs scientifiques sont élaborés et organisés, domaine dont relèvent entre autres les questions telles que :

- Comment sont construites les connaissances scientifiques ?
- Qu'est-ce qui fait qu'une connaissance est scientifique ?
- Qu'est-ce que l'objectivité en sciences ?
- Quelles sont la portée, la valeur et les limites des connaissances scientifiques ?

Parallèlement au développement de la science moderne au XX^{ème} siècle, ces réflexions sur les démarches des scientifiques et sur le fonctionnement de la science constituant des problématiques vécues par les savants, et réfléchies par les philosophes, sont devenues si précises et si complexes au cours de l'histoire que l'épistémologie a fini par constituer un objet propre à la pensée, « *un champ disciplinaire spécifique »* (Coince et al., 2008 ; Soler, 2000 ; Ullmo, 1969). Autrement dit, alors que l'activité scientifique des chercheurs consiste à utiliser et produire des connaissances selon des modalités tacites et implicites, les épistémologues, issus du champ de la recherche en physique ou bien de la philosophie, en interrogeant cette activité et la nature et le statut des connaissances qu'ils utilisent et produisent, ont ainsi construit un corpus de connaissances identifiable. Pour le « *métascientifique ou l'épistémologue, les procédés, les normes et parfois même les résultats de la science sont autant de problèmes* » Bunge (2001, p.28). Brickhouse (1990, p.53) emprunte à Schwab[2] (1968) à ce sujet le concept de « *connaissance syntaxique »* de la science *« qui se rapporte aux méthodes utilisées dans une discipline pour construire les connaissances, c'est-à-dire comment l'expérimentation et les faits ont une influence sur la genèse des théories, comme les théories sont utilisées pour élaborer de nouvelles*

[2] Schwab, J.-J. (1968). The concept of the structure of a discipline. In L. J. Hebert & W. Murphy (Eds.), Structure in the social studies (pp. 43-56). Washnigton, DC : National Council for the Social Studies.

connaissances, et comment la culture et les conditions sociales influencent la nature des découvertes scientifiques»[3]. L'épistémologie consiste ainsi à objectiver et identifier dans l'activité scientifique, pour pouvoir les caractériser, les démarches, les types de connaissances utilisées et les manières de les utiliser.

Il est important de noter que l'épistémologie, comme domaine d'étude qui construit un discours de nature philosophique à la fois réflexif et critique sur la science et sur ses pratiques, porte sur l'activité scientifique existante ou ayant existé, prend pour objet la science telle quelle, reconnue comme telle par ses acteurs et plus généralement par la société, donc la « *présuppose* », la décrit, « *interroge la nature et la valeur des principes, des concepts* » qu'elle utilise et « *s'emploie à discuter du bien-fondé et de la portée »* de ses propositions et de ses méthodes (Soler, 2000, p.15). En cherchant à élucider « *quelles sont les méthodes proprement scientifiques, [elle] propose éventuellement des critères de scientificité permettant de démarquer les vraies sciences des fausses, de préciser la spécificité des sciences par rapport à d'autres modèles culturels* » (ibid., p.16). Une théorie épistémologique est ainsi constituée d' « *un système de définitions, de suggestions, de conventions pouvant servir à l'appréciation philosophique de tout discours à prétention de scientificité »* (Nadeau, 1984).

Mais à l'intérieur même de ce champ de l'épistémologie limité au cadre des savoirs scientifiques, on ne peut éluder que les problématiques épistémologiques diffèrent principalement selon deux approches, internaliste et externaliste. Cette distinction relève d'une classification des facteurs susceptibles d'influencer l'activité scientifique, et ainsi l'élaboration et l'acceptation ou non des théories scientifiques. Elle constitue en ce sens un outil d'analyse usité par les épistémologues.

[3] Tous les extraits d'article en langue anglaise de ce mémoire ont été traduits par nos soins.

2.1 Approche internaliste

Les travaux en philosophie et sociologie des sciences au XXème siècle peuvent être généralement divisés en deux grandes périodes séparées par l'apport de Kuhn (1983). La première est dominée par les travaux des empiristes logiques qui ont établi dans une approche « internaliste » une distinction au sujet des connaissances scientifiques, entre ce que l'on peut appeler le « contexte de découverte » des connaissances et le « contexte de (leur) justification ». Leurs travaux ont essentiellement porté sur le second aspect. Les philosophes de cette tradition (Carnap ; Popper ; Reichenbach ; Russell) se sont attachés à développer un cadre logique normatif qui a pour finalité de justifier les affirmations scientifiques, plutôt qu'un compte rendu descriptif de la manière dont la science travaille. De cette manière, ils ont tenté d'expliquer les fondements logiques et épistémologiques de la science, à l'intérieur même du champ des sciences, à l'exclusion de toute autre considération, notamment des contextes dans lesquels ces idées se sont développées (fondements psychologiques et sociologiques des idées scientifiques) qu'ils ont considérés comme externes à la science.

Une telle approche consiste à « *saisir toute la spécificité du discours scientifique dont la caractéristique principale serait de s'alimenter de sa propre histoire, de ses propres problèmes* » (Joshua & Dupin, 2003, p.54). La science en tant qu'ensemble de contenus et de méthodes est assimilée à « l'intérieur » et les facteurs internes sont ceux qui interviennent au sein même de l'activité scientifique, ceux qui participent à la logique propre de production et de l'enchaînement des énoncés scientifiques : les faits disponibles, les connaissances supposées acquises, les hypothèses nouvellement émises, les procédures de mise à l'épreuve des hypothèses proposées (démonstration, expérimentation, …). Dans sa forme radicale, l'approche interne considère que les théories scientifiques résultent d'un face à face entre l'Homme et la Nature (Soler, 2000, p.146). Celle-ci, par les réponses qu'elle donne via les expériences par lesquelles les scientifiques l'interrogent, contraint ces derniers de manière objective et tout à fait déterminante à désigner les « bonnes » théories, étant donnés les faits naturels connus et les connaissances déjà acquises à un moment donné.

Mais comment « *supposer que la production scientifique pourrait se faire en vase clos, sans influence de la société dans laquelle elle s'insère* ? » (Joshua & Dupin, 2003, p.53)

2.2 Approche externaliste

Ce milieu du XXème siècle voit l'émergence de la sociologie des sciences, à travers notamment le concept de « *collectif de pensée* » dans les travaux de Fleck (1935), et ceux de Merton (1942)[4] qui, par l'analyse des normes et des valeurs qui régissent le comportement social des scientifiques, voit la science comme une structure sociale normée. Ces travaux marquent le début d'un glissement chez les philosophes et les historiens des sciences, de la primauté du contexte de justification vers le contexte de découverte : les facteurs pouvant influer sur la nature et le statut des connaissances scientifiques sont périphériques par rapport aux contenus et méthodes scientifiques ; ce sont ainsi des facteurs de nature psychologique, sociaux, culturels, économiques ou politiques, tels que les idéologies dominantes, le type de régime politique, l'organisation des institutions scientifiques. Ce glissement est poursuivi notamment dans les œuvres de Kuhn (1962) et Lakatos (1976) qui ont pris en compte le rôle que joue la communauté scientifique dans la compréhension du mouvement de la découverte, et cela jusqu'à un point de vue externaliste radical (qui constitua le « programme fort de la sociologie des sciences » (Bloor, 1983), selon lequel les théories sont le produit d'intérêts économiques et sociaux, d'exigences techniques et d'idéologies religieuses et politiques. Un ensemble de facteurs considérés auparavant comme irrationnels ou externes à la science sont désormais intégrés à la manière de penser la nature de la science.

---

[4] Fleck, L. (2008) *Genèse et développement d'un fait scientifique*, Flammarion, Champs sciences, Paris (édition originale allemande 1935)

Merton, R. K. (1942) *The normative structure of science*, in Storer N.W. (ed.), The Sociology of Science, Chicago, 1973, University of Chicago Press, p. 267-278

Selon cette approche, l'histoire des sciences, en tant que matériau premier de l'épistémologie du point de vue de la compréhension de l'évolution des connaissances scientifiques, est considérée comme une « *composante de l'histoire générale, comme l'histoire sociale, économique, politique et idéologique* » (…) « *Qu'il faille saisir la science dans son autonomie relative dans une recherche de disjonction entre subjectivité et objectivité ne doit pas conduire à l'extirper de son soubassement historiquement daté et qualifié d' « extérieur » dans lequel elle s'inscrit pleinement* » (Joshua & Dupin, 2003). Les mêmes faits étant susceptibles d'être interprétés de multiples façons, c'est le sujet (individu ou communauté) et non la nature de l'objet d'étude, qui impose le contenu des théories.

3 Nature of science

Dans les revues internationales de recherche sur l'enseignement des sciences[5] (« *science education* »), essentiellement anglophones, on trouve plus souvent le terme de « *Nature of Science* », et ce terme est rapporté généralement à un concept multiforme dont il est difficile de trouver une définition simple et consensuelle. Ce concept inclut des aspects historique, sociologique et philosophique de la science et est associé tantôt à l'épistémologie des sciences (telle que nous l'avons définie précédemment), tantôt aux caractéristiques de la connaissance scientifique, ou à la science comme moyen d'accès à la connaissance. Mais il intègre aussi les « *valeurs et croyances inhérentes au développement de la connaissance scientifique »* (Lederman, 1992), comme par exemple, un point de vue selon lequel la connaissance scientifique est exempte de morale, et est un produit de la créativité humaine.

[5] Les sciences (au pluriel) renvoient ici aux sciences expérimentales et d'observation enseignées (parfois par la même personne) dans les classes : physique, biologie, chimie, géologie. « Les » sciences désignent donc des disciplines scolaires. Ces mêmes disciplines sont regroupées sous la formulation plus générique de « science » (au singulier) lorsqu'il s'agit de désigner les disciplines académiques, notamment dans l'expression « nature de la science ».

Toutefois, cette caractérisation demeure par trop générale et ne fait pas l'unanimité auprès des philosophes des sciences, des historiens des sciences, des sociologues des sciences et de la noosphère des disciplines scientifiques qui n'adhèrent pas à une définition univoque et spécifique de la nature de la science. Ce déficit de définition rend compte, soit du manque de conviction chez les auteurs en l'existence d'une « nature de la science » particulière, soit d'un consensus implicite sur ce que cette expression signifie (op.cit.). L'absence d'unicité dans la définition, cependant, ne devrait pas surprendre, étant donné les multiples facettes et le caractère complexe de ce qui est appelé « science ».

Si la définition de ce terme et son utilisation ne font pas entièrement consensus parmi les sociologues, historiens, philosophes et enseignants des sciences, il semblerait qu'il y ait quand même davantage de consensus que de divergences. En effet, ces dernières sont davantage de l'ordre des débats entre spécialistes sur des points particuliers et des disciplines particulières (Lederman, 1992). Il s'est cependant dégagé un certain niveau de généralité dans l'affichage des objectifs en la matière dans les référentiels en sciences au niveaux du primaire et du secondaire dans les pays tels que USA, Canada, Australie, et Nouvelle Zélande (« K12 curriculum ») : ce concept de nature de la science est employé en lien avec les questions de développement du litérisme[6] scientifique, but principal de l'enseignement des sciences depuis une vingtaine d'années (American Association for the Advancement of Science, 1989, 1993, National Research Council, 1996). La noosphère chargée d'établir ces référentiels (« *science educators* ») distingue trois domaines considérés comme cruciaux pour développer le litérisme scientifique (Bell, 2004) (figure 1) :

- Le premier d'entre eux est constitué par l'ensemble des connaissances scientifiques :

[6] Le litérisme scientifique –sur lequel nous reviendrons dans la partie consacrée à une présentation rapide des référentiels nord-américains dans le chapitre 2- est décrit comme la capacité de comprendre l'importance de la science dans les médias, d'identifier et de prendre la mesure des contributions de la science, et d'être capable d'utiliser la science dans les prises de décisions à la fois quotidiennement et à propos des questions de société dans lesquelles la science est impliquée.

les faits, les concepts, les théories et les lois qu'on trouve habituellement dans les manuels de sciences. Ce domaine est le plus familier et le plus « concret » des trois tant pour les enseignants que pour les élèves.

- Le second contient ce qui est relatif aux méthodes scientifiques et des processus qui décrivent la grande variété des démarches que les scientifiques utilisent généralement pour élaborer les contenus qui appartiennent au premier domaine.

La science est :

- La nature de la science constitue le troisième domaine. Il est de loin le plus abstrait et le moins familier des trois. Ce domaine cherche à décrire la nature de l'entreprise scientifique et les caractéristiques de la connaissance qu'elle produit. Ce domaine de la science est très peu présent dans la plupart des documents utilisés dans l'enseignement des sciences, et quand c'est le cas, il y est souvent mal représenté. Le mythe d' « une méthode scientifique » et l'idée que les théories scientifiques peuvent évoluer vers des lois lorsqu'elles sont prouvées par des faits sont des exemples de conceptions erronées qui sont directement enseignées dans les manuels de science (Bell, 2004).

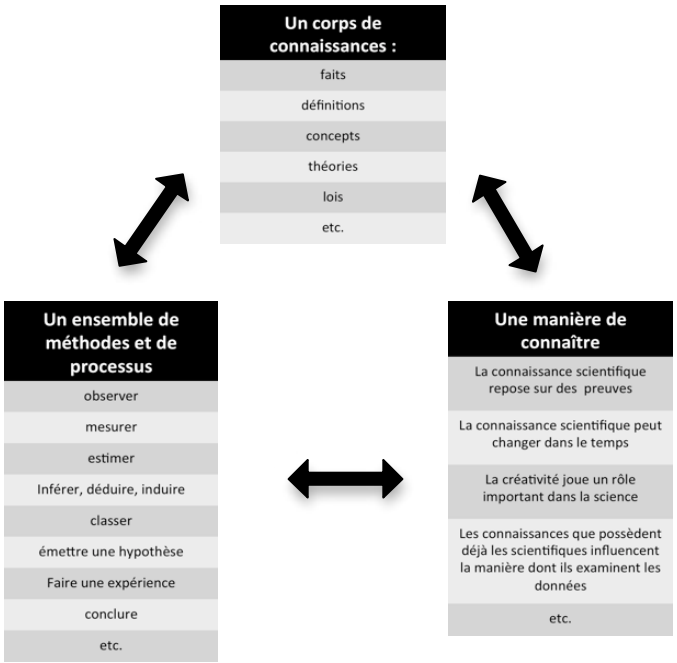


Fig. 1 : les trois domaines de la science (Abell, 2004)

Le terme de « *Nature of Science* », est ainsi utilisé dans un sens équivalent à celui d'« épistémologie des sciences » défini précédemment, et à celui de cette définition proposée par Ryder & Leach (UK) (2008, p. 289) : « *l'épistémologie des sciences est à la base de nombre de questions identifiées dans la littérature sur la nature de la science, à savoir le rôle de la créativité en science, les buts des investigations scientifiques, la nature des explications scientifiques en science, les activités à l'intérieur de la communauté scientifique comme la critique par les pairs* ».

Dans un souci de clarté, lorsque le terme « *Nature of Science* » est associé à l'aspect de l'épistémologie qui s'intéresse aux activités de la science (Lederman, 2005), ces dernières sont regroupées sous le vocable de « *Science Inquiry* » que nous comprenons dans un sens analogue à celui de « démarche scientifique » : sont alors en jeu des activités en relation avec les processus d'élaboration des connaissances, de collecte, d'analyse de données et de formulation de conclusions. Ainsi, comprendre que les observations sont nécessairement chargées de théorie et sont contraintes par nos appareils de perception, que les conclusions construites à partir d'une investigation sont sujettes à modification, est du domaine de la « nature de la science ». D'un autre côté, le fait que de multiples approches peuvent être acceptables pour répondre à une question scientifique relève de la notion de « démarche scientifique ». Bien que ces termes se recoupent et interagissent de manière importante, ils seront, pour ces raisons, repris tels quels par la suite.

Le terme de « nature de la science », utilisé ici dans la traduction littérale de « *nature of science* » renvoie donc spécifiquement à la définition en langue française de l'épistémologie des sciences, donc à la réflexion qui est portée sur la science en tant que manière de décrire et de comprendre le monde, et ce savoir est nécessairement en construction et donc en évolution, à l'image de son objet. A ce titre, nous utiliserons indifféremment les termes d' « épistémologie » ou de « nature de la science » au sujet de ce qui permet de caractériser le fonctionnement de la science et les connaissances qu'elle produit. En revanche, nous parlerons le cas échéant de « conception sur la nature de la science », où le terme conception est pris dans son acception large, pour parler de ce qu'un individu pense à

propos de la nature des connaissances scientifiques et de la manière dont le savoir se construit.

De plus, cette acception de la « nature de la science » qui renvoie en quelque sorte aux conceptions relativement à la science, possède, à l'image des connaissances scientifiques, un caractère provisoire et dynamique : ces conceptions sur la science se sont développées et affinées à travers le développement de la science au cours de l'histoire et la réflexion systématique sur sa nature et sur la manière de travailler en science (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000). Les définitions de ce à quoi renvoie la nature de la science se sont modifiées à plusieurs niveaux avec les développements des différentes disciplines scientifiques. On peut citer notamment le changement qu'a produit chez les physiciens le passage d'une conception déterministe de la physique classique qui régnait jusqu'au début du XXème siècle, au caractère indéterministe de la physique quantique. Simultanément à l'évolution des idées scientifiques, les manières de penser le concept de "nature de la science" ont changé avec les recherches menées en histoire, philosophie et sociologie des sciences (Lederman, 1992).

Mais l'épistémologie est un domaine aussi évolutif que les sciences qui en constituent l'objet et les notions abordées ainsi que les relations qu'elles entretiennent entre elles n'ont pas toujours été de même nature, et ont été au centre de grands courants de pensée depuis l'avènement de la science moderne au XVI^{ème} siècle.

4 Quelques jalons de l'évolution de la pensée en épistémologie

Il nous semble nécessaire de développer dans ce qui suit quelques-uns des principaux courants de pensée en épistémologie pour deux raisons :

- **les savoirs enseignés aujourd'hui en classe de physique ont été reconnus comme « scientifiques » alors qu'ils étaient élaborés à des moments de l'histoire où la réflexion épistémologique ne définissait pas la science de la manière dont nous le**

faisons aujourd'hui. Un consensus semble s'être construit aujourd'hui en philosophie des sciences autour de ce que nous appellerons « épistémologie contemporaine » dont nous donnerons des détails dans le chapitre 5. Ce consensus trouve ses fondements dans le questionnement foisonnant sur la science et en particulier sur la physique qui s'est fait jour au début du XXème siècle avec l'avènement de la physique quantique. Les questions qui se sont posées alors ont fait trembler les fondements philosophiques positivistes de la physique du XIXème siècle toute puissante et opératoire, dont la clé de voûte est incarnée dans le second principe de la thermodynamique, la théorie des ondes électromagnétiques et la relativité générale. Or, suivant en cela le point de vue relativiste soutenu en particulier par Kuhn (1983), il nous semble important de rendre compte au moins de quelques-unes des différentes étapes qui ont jalonné la philosophie des sciences dans la mesure où nombre des savoirs qui font l'objet d'un enseignement en classe de physique sont issus de connaissances que nous reconnaissons comme « scientifique », « *passant sous silence le système cohérent dans lequel à chaque époque ces idées étaient intégrées, système aujourd'hui dépassé, mais qui constituait le système scientifique à l'époque considérée, et en dehors duquel on ne peut comprendre correctement la genèse des idées partielles qui ont la bonne fortune de rester valable jusqu'à nos jours* » (Kuhn, 1983, p.74).

- **l'hypothèse selon laquelle certaines des idées véhiculées sur la nature de la science, ou bien encore certains aspects de la nature de la science se retrouvent certainement dans l'évolution de la pensée épistémologique a servi à de nombreux travaux sur les conceptions des élèves et des enseignants sur la nature de la science**. Ces courants sont ceux que les études, comme celle de Roletto (1998) en France et en Italie sur les enseignants, font apparaître comme savoirs de référence auxquels il est possible de confronter les « points de vue » des étudiants et des enseignants à propos de la nature de la science. Celles-ci font état de l'existence d'éléments dans les conceptions sur la nature de la science que l'épistémologie a reconnus comme caractéristiques de la nature de la science à différents moments de

son évolution.

Nous présentons ainsi dans l'ordre chronologique et sans les détailler quelques éléments relatifs à l'élaboration et au statut du savoir en physique issus de quelques-uns des principaux courants épistémologiques et de la connaissance scientifique, depuis le rationalisme cartésien jusqu'au rationalisme contemporain, en passant par le positivisme d'Auguste Comte et le positivisme logique. Nous nous sommes appuyés sur les catégorisations épistémologiques traditionnelles (empirisme, rationalisme, réalisme et relativisme), et nous sommes inspirés de l'ouvrage de Robardet et Guillaud (1997) ainsi que de la thèse de Roletto (1998) pour ce qui concerne le plan chronologique de la présentation. Un tel choix limite certainement la subtilité et la complexité des positions épistémologiques effectivement soutenues par leurs fondateurs, mais c'est celle qui nous a semblé la plus accessible et la plus synthétique dans le contexte limité de notre étude.

4.1 Le rationalisme

Le XVIème siècle marque un moment particulier de l'histoire des sciences où apparaissent certaines caractéristiques de la manière dont est élaboré le savoir en science, caractéristiques qui se retrouvent dans la physique telle que les enseignants se la représentent, et telle qu'elle est enseignée comme différents travaux l'ont montré (Robardet & Guillaud, 1997, Roletto, 1998). En effet, la tradition scolastique du Moyen-Âge (XII^{ème} siècle) cède la place, sous les assauts de Descartes, Bacon, ou encore Galilée, à une science dite « rationaliste » qui soutient que le fondement de la connaissance scientifique est à chercher dans la raison et dans sa vision des idées claires et distinctes. Il convient de mettre fin à une science aliénée à la philosophie d'Aristote (« Aristoteles dixit… ») et de n'admettre que la raison dans la recherche de la connaissance. Les héritiers de la pensée d'inspiration « réaliste » d'Aristote utilisaient alors l'observation minutieuse de la Nature et l'expérience davantage comme prétexte à des développements théoriques ou idéologiques, sous-tendus par des principes innés ou vérités premières métaphysiques, qu'à des fins de preuve. La contradiction entre ces deux « écoles » se situe sur la question du pouvoir qu'a

l'esprit de l'Homme de discerner le vrai et de comprendre l'Univers. Il s'agit pour les rationalistes de cette révolution scientifique du XVIème siècle de fonder la démarche scientifique sur l'observation attentive et méthodologique des « lois de la Nature ».

Selon Descartes, le savoir découle d'un nombre réduit de principes premiers, a priori estimés évidents, car perçus clairement et distinctement comme vrais (la masse constante, le temps, l'espace absolu), et possédant un caractère intangible et immuable. Sa démarche est la suivante : à partir des principes premiers que l'intuition du « vrai » a priori permet de formuler et qui fondent l'objectivité du savoir, il s'agit d'établir, par déduction, les principes généraux d'un domaine scientifique, à partir desquels on peut déduire des lois ou des théories, guidé par la rigueur des mathématiques et de la logique. Cette démarche accorde la primauté aux principes premiers, fruits de la raison, devant les faits observés par notre perception « trompeuse » a priori. Ainsi, si un fait empirique vient à contredire un principe, c'est le fait, ou du moins sa perception qui est mise en cause : il faudra améliorer la mesure ou le dispositif expérimental afin de réduire l'écart constaté entre le fait et la loi. L'expérimentation n'a pour rôle que de confirmer les théories a priori.

4.2 L'empirisme

La philosophie de l'Empirisme dont les plus grandes figures sont John Locke (1623-1704) et David Hume (1711-1776) défend une conception de la science selon laquelle c'est l'expérience, les faits, ou les résultats expérimentaux qui donnent la mesure du succès des théories, et qu'un accord entre une théorie et les données joue en faveur de la théorie, tandis qu'un désaccord la met en danger, et peut-être nous force même à l'éliminer. Ce courant de pensée affirme que la connaissance est définie à partir des impressions sensorielles. Le scientifique se doit de recueillir des faits et de rendre compte fidèlement de ce qu'il est capable d'atteindre par ses sens : les idées puisent leur origine dans les sensations, elles ne sont pas des créations spontanées de la raison, mais plutôt le fruit d'une passivité de celle-ci face à la réalité, constituée uniquement de ce qui tombe sous notre perception sensible. La science a pour tâche la recherche et la collecte de faits bruts, dans

une finalité d'explication de la Nature.

La méthode expérimentale est considérée ainsi comme gage de scientificité, en garantissant l'ancrage de la théorie empirique dans les faits, et en étant supposée contraindre l'imagination humaine à coller à la nature. La physique est en conséquence hautement valorisée. Le prestige associé à cette méthode date des XVI^{ème} et XVII^{ème} siècles, époque à laquelle la physique développe une expérimentation systématique et produit, avec les travaux de Galilée et de Newton, des théories dont la puissance prédictive et le pouvoir unificateur surpassent de très loin tout ce qui existait auparavant.

Mais de la sensation, signature du fait, au savoir scientifique, la démarche caractérisant l'empirisme tient de l'inductivisme naïf (ou strict) : ce type de raisonnement se ramène au syllogisme et donne la primauté à l'observation comme point de départ et seul fondement de toute connaissance scientifique. Le savoir scientifique repose sur l'observation soigneuse des phénomènes, et permet de « produire une connaissance du monde qui s'appuie, de façon claire et logique, sur l'expérience et qui puisse donc être soumise à des tests objectifs » (Hempel, 1972).

Ce caractère d'objectivité est attribué au savoir par le fait que l'observation est menée sans idée préconçue, par un sujet indifférent à la réalité, et dont les perceptions sensibles sont neutres. La démarche permet ainsi de passer « naturellement » par un raisonnement inductif des données d'observations à des généralités puis à des prévisions de ce qui pourra être observé par un raisonnement déductif utilisant les inférences tirées d'énoncés généraux antérieurement établis.

Pour que la démarche de généralisation à des lois à partir d'énoncés d'observations se référant à des cas particuliers puisse être légitime, les tenants de l'inductivisme naïf proposent trois conditions à satisfaire, formulées par A. Chalmers (1976) :

1. Le nombre d'énoncés d'observation formant la base de la généralisation doit être élevé.

2. Les observations doivent être répétées dans une grande variété de conditions.

3. Aucun énoncé d'observation accepté ne doit entrer en conflit avec la loi universelle qui en est dérivée.

Cette conception strictement inductiviste de l'élaboration du savoir scientifique a beaucoup évolué, à partir des critiques suivantes, surtout pendant le XIXème siècle où l'inductivisme constitue l'approche méthodologique dominante :

1. l'observation objective est difficile, voire impossible à réaliser : on ne peut nier l'existence de présupposés culturels à l'observation qui tendent à ramener ce que l'observateur voit ou interprète à l'intérieur de connaissances déjà acquises. L'observation est suivie d'une description qui « ne peut se faire qu'au moyen de notions qui se réfèrent toujours, par la médiation d'un langage, à une représentation théorique généralement implicite » (Robardet & Guillaud, 1997).

2. la condition d'un grand nombre d'énoncés d'observation est vague, et celle concernant les différentes conditions n'est pas plus précise. Si l'on ne retient que les énoncés tirés d'observations pertinentes, on trébuche sur la question de ce qui permet de juger de cette pertinence : peut-être une hypothèse de départ, mais dans ce cas, l'observation n'est plus neutre, mais guidée par une idée initiale.

3. on peut montrer qu'il est possible de classer un ensemble d'observations de différentes manières sans pour autant jeter un éclairage sur la manière dont elles sont liées.

4. il n'existe pas de règles d'induction générales et d'application automatique permettant d'inférer des principes généraux à partir de données empiriques.

4.3 L'inductivisme sophistiqué

La pertinence de ces critiques fait évoluer la conception de la science vers un inductivisme sophistiqué qui se démarque de l'inductivisme naïf par l'abandon de son principe fondateur : les observations ne constituent plus le seul fondement de la connaissance, mais elles en

assurent la crédibilité. Il n'est plus apparenté non plus au syllogisme, dans le sens où « pour passer des données à la théorie, il faut un travail créateur de l'imagination. Les hypothèses et les théories scientifiques ne sont pas dérivées des faits observés mais inventées pour en rendre raison » (Hempel, 1972). Cette place laissée à l'initiative et à « l'imagination » marque une distinction entre la formulation d'une hypothèse dans l'interprétation des faits et sa justification et son acceptation par ces faits. Ces hypothèses « découlent d'un inventaire empirique des facteurs pouvant avoir une influence sur le phénomène étudié ou bien elles peuvent être le fruit de l'imagination et de la pensée créative » (Roletto, 1998). Les scientifiques peuvent donner libre cours à leur imagination dans la phase de proposition d'hypothèses, mais ils se doivent de les vérifier par les contrôles expérimentaux : c'est ce qui permet à la science en général, et à la physique en particulier de se distinguer des autres formes de connaissance. De fait, qu'une hypothèse décrive un fait ou un événement particulier, ou qu'elle exprime une loi générale ou quelque autre proposition plus complexe, les inductivistes « sophistiqués » lui confèreront un certain « poids empirique » à l'égard des prédictions vérifiables déduites logiquement de cette hypothèse que l'on veut tester. On peut parler de vérité des implications vérifiables déduites d'une hypothèse, mais ceci ne permet guère de statuer sur la vérité de l'hypothèse elle-même. Enfin les lois peuvent être réunies, par réflexion et raisonnement, dans un petit nombre de principes généraux appelés « théories », qui « apportent une réflexion plus approfondie et plus exacte des phénomènes » (Hempel, 1972).

Mais cette conception n'est pas exempte de critiques de la part des épistémologues comme Hempel ou Chalmers qui soulèvent quelques questions de fond :

1. l'inductivisme sophistiqué accorde une confiance absolue dans les données empiriques.
2. il n'est pas toujours possible de tester directement les principes généraux par des contrôles empiriques.
3. il ne prend pas en compte l'influence éventuelle que la connaissance d'une théorie existante peut avoir sur l'évaluation de certains facteurs plutôt que d'autres sur le

phénomène étudié. Ainsi est bien marquée pour les inductivistes la césure entre observation et hypothèse, distinction qui n'est pas aussi nette qu'il y paraît, dans la mesure où les expériences et les observations qui viennent corroborer l'hypothèse ne sont réalisables que si l'on possède une théorie du phénomène étudié. L'expérience et l'observation ne sont guère distinctes de l'hypothèse qui est mise à l'épreuve, du moment que celle-ci intervient, dans une certaine mesure, dans la préparation même de l'essai expérimental.

4.4 Le positivisme

Le XIXème siècle est marqué en France par la théorie positiviste de la connaissance, fondée par Auguste Comte (1798-1857), qui trouve ses principes philosophiques chez Bacon, Galilée et Descartes, et qui est inspirée des conceptions rationaliste et inductiviste de la science. Ce courant est contemporain du développement de la société industrielle du XIXème siècle et du découpage de la science en disciplines scientifiques, affaire de « spécialistes » (l'optique de Fresnel et Arago, la thermodynamique de Carnot et Clausius, l'électromagnétisme de Faraday et Maxwell, etc.).

La pensée mécaniste, au regard des progrès des sciences nouvelles qui sont déjà solidement constituées telles que la thermodynamique, appartient à l'histoire. Les problèmes des rapports de la théorie et de la réalité ont animé les débats entre énergéticiens et atomistes sur une difficulté objective, celle de la coexistence de deux niveaux d'explication : explication microscopique et explication macroscopique. Le mode de pensée « phénoménologique » refoule l'ontologie mécaniste. Les hypothèses atomistes et moléculaires sont considérées comme la reviviscence d'anciennes doctrines qui cherchaient à expliquer du visible par l'invisible et à réduire le complexe au simple (Bachelard, 1979). Les premiers considèrent comme superflue une explication microscopique, s'en tenant à la description phénoménologique.

Pour Comte, l'humanité et l'individu passent par trois stades au cours de leur évolution

intellectuelle : théologique (caractérisé par une explication surnaturelle des phénomènes), métaphysique (la connaissance est fondée sur des causes « premières » ou « finales » à laquelle les faits sont confrontés), et scientifique ou positif (c'est en s'appuyant sur le raisonnement et l'observation que les scientifiques découvrent des lois qui expriment les rapports existant entre les faits et en permettent la prévision). Comme l'empirisme, la science positive passe par l'observation des phénomènes qui en assure la vérité, mais contrairement à elle, ils doivent être interprétés, ce qui demande que des hypothèses soient avancées.

Mais Comte pense que cette science positive n'a pas pour but d'« expliquer » les phénomènes, c'est-à-dire d'en rechercher les « causes » ou les « essences ». La science doit se limiter à décrire les phénomènes par des « lois » qui expriment des relations entre ces faits, lois qui représentent le but ultime de cette science. Ainsi apparaît le problème, occulté par les positivistes, de la relation entre le sujet et la connaissance, entre la raison et le monde, d'autant plus que les connaissances sont structurées selon des systèmes cohérents du point de vue logique, ce qui les place directement en relation avec le sujet pensant. Il s'agit alors de « regarder tous les phénomènes comme assujettis à des lois naturelles, dont la découverte précise et la réduction au moindre nombre possible sont le but de tous nos efforts » (Comte, 1830). Autrement dit, la science positive se caractérise par une mise en évidence de régularités empiriques formalisées par les mathématiques que l'on appelle « lois scientifiques ». Ainsi la raison triomphe-t-elle du fait empirique. Selon la conception positiviste, le savoir scientifique est structuré comme une pyramide d'énoncés selon un ordonnancement hiérarchique dont les fondements sont les énoncés d'observation singuliers concernant un fait : sûrs, immuables et vrais car attentivement observés et observables. Au sommet de la pyramide, on trouve les énoncés universels, les lois et théories qui sont tirés de l'interprétation des énoncés singuliers et qui sont, contrairement à ces derniers, subjectifs et mutables. Roletto (1995) synthétise la démarche positiviste autour de 6 axes majeurs :

« 1. La science est la seule connaissance possible et la méthode scientifique est la

seule valable : il n'y a pas de connaissance quand on fait appel à des principes qui ne sont pas accessibles à la méthode scientifique.

2. On ne peut pas accepter au sein du savoir scientifique les recherches visant à repérer les causes des phénomènes, qu'il s'agisse des causes premières et finales ou simplement des causes cachées, concernant la nature profonde des phénomènes.

3. La science est purement descriptive, c'est-à-dire qu'elle se borne à décrire les faits et à découvrir, par l'usage du raisonnement et l'observation, les relations fixes de succession et de similitude entre eux ; ces relations sont exprimées par des lois et donnent même la possibilité d'avancer des prévisions concernant les faits.

4. Les hypothèses sont autorisées, mais elles doivent porter uniquement sur les lois régissant les phénomènes et jamais sur leurs causes.

5. Les théories ne sont rien de plus qu'un ensemble de lois et diffèrent de ces dernières uniquement par leur degré supérieur de généralité.

6. Etant la seule valable, la méthode scientifique (expérimentale) doit être étendue à tous les domaines de recherche et de l'activité intellectuelle des êtres humains. »

Selon Joshua et Dupin (2003), « *pour les positivistes de stricte obédience, la science se contente de décrire, elle n'explique rien à proprement parler. La théorie scientifique fonctionne suivant les critères appropriés aux théories déductives, les lois ne sont que des relations formelles qui précisent les conditions observables d'existence ou de production d'un phénomène, et les catégories qui constituent les unes et les autres sont sans signification autre que symboliques. Les canons positivistes ont aidé à clarifier ces questions en exigeant de ces entités postulées qu'elles aient des effets observables, fussent-ils très indirects. Mais la recherche de mécanismes sous-jacents, donc d'une explication, vient infirmer des fondements majeurs de l'option positiviste. Le positivisme historique a, sur ces bases, rejeté pendant longtemps l'hypothèse atomique, aujourd'hui unanimement reconnue comme incontournable*. »

Pour les tenants du positivisme logique sophistiqué, la position déterminante de l'expérience consiste à considérer comme universelle l'association du cheminement

mathématique et de la définition rigoureuse des objets traités par la seule et unique description observationnelle. Il est nécessaire pour cela de définir des règles rigoureuses pour les protocoles expérimentaux, comme la définition explicite des variables en cause et la répétabilité indéfinie.

4.5 Le néopositivisme

La philosophie positive va évoluer au début du XXème siècle vers le néo-positivisme ou positivisme logique ou encore néo-empirisme de l'Ecole de Vienne (1927-1936) (Ernst Mach, Rudolf Carnap, etc.) : ce courant soutient que seul a un sens le fait de parler de ce qui s'observe ou se mesure, que les sciences n'étudient pas les choses en soi mais les phénomènes : ce ne sont pas les corps, les objets mais bien les sensations qui constituent le monde. Si les néopositivistes reprennent la plupart des thèses des positivistes, l'apport spécifique de cette école de pensée par rapport au positivisme tient au rôle qu'ils attribuent à la logique dans la formation du savoir.

Il y a pour eux deux types de savoir : d'une part la connaissance des vérités logiques, savoir indépendant de toute expérience, et d'autre part l'ensemble de toutes les connaissances ayant pour objet le monde, fondé sur l'expérience sensible. Il s'agit aussi de réduire les lois expérimentales à une théorie, c'est-à-dire à un nombre restreint de principes plus généraux, permettant de construire une axiomatique qui donne une description économique des faits observés et fait prévoir leur apparition. Le but de la science n'est pas de comprendre, d'appréhender les phénomènes, mais de décrire correctement les observations faites dans un souci d'économie de pensée. Ainsi une loi scientifique est-elle considérée comme une règle, un instrument utile à l'orientation de la recherche expérimentale, un système de procédés de vérification qui repose sur des procédures contrôlées. Pour les empiristes logiques, vérifier signifie « réduire à des énoncés d'observation singuliers intersubjectivement validés ».

En raison de la nature infondée logiquement des lois scientifiques, Carnap préfère substituer

au critère de vérifiabilité celui de confirmation. A défaut de pouvoir prouver la vérité des énoncés théoriques, l'idée est d'estimer leur plausibilité. Le degré de confirmation théorique est identifié à la plus ou moins grande probabilité pour que cet énoncé soit vrai.

4.6 Le réalisme

L'idéal du réalisme naïf vise à chercher la théorie vraie, formée de concepts et de relations qui soient des copies exactes de la réalité. C'est en plongeant sous la surface des phénomènes familiers que les sciences de la nature ont obtenu les vues les plus profondes et de plus grande portée sur les phénomènes étudiés ; il n'est donc pas surprenant que certains penseurs considèrent les phénomènes, les structures, les forces et les processus sous-jacents dont les théories bien établies supposent l'existence comme les seuls éléments réels qui constituent le monde, et leur attribuent le statut ontologique d' « être » (Hempel, 1972, p. 121).

Certains hommes de science et philosophes des sciences ont soutenu une conception diamétralement opposée. En gros ils dénient l'existence d'entités théoriques ou considèrent les suppositions théoriques qui s'y rapportent comme d' « ingénieuses fictions », qui permettent de rendre compte des choses et des évènements observables d'une façon simple du point de vue formel et commode pour décrire et pour prédire.

Chapitre 2 : L'épistémologie dans les programmes de sciences

Les évolutions de la pensée sur la nature de la science que nous avons notées en fin de la partie précédente se reflètent dans les manières dont les institutions qui fixent les orientations de l'enseignement des sciences envisagent la nature de la science depuis les 100 dernières années (Lederman, 1992). A différents degrés, les cadrages généraux de l'enseignement des sciences permettent plus ou moins d'identifier des positions épistémologiques particulières, et cela en France autant que dans les pays étrangers. Nous commencerons par regarder du côté des Etats-Unis, ne serait-ce qu'en raison du plus grand nombre de travaux de recherche sur les questions de transmission des savoirs épistémologiques, puis nous verrons ce que l'enseignement en France recèle à ce sujet.

1 Le cas des États-Unis

Les programmes de sciences sont très divers d'un pays à l'autre, et particulièrement aux Etats-Unis, diffèrent suivant l'Etat, la province, les districts scolaires et les écoles. Les différences les plus notables concernent les contenus et/ou les concepts mis en jeu. Il n'existe pas de consensus en ce qui concerne un contenu spécifique qui devrait entrer dans les cours de science, ni sur les méthodes ni sur les stratégies. Malgré ces disparités, ils paraissent converger sur un au moins des objectifs cruciaux de l'enseignement des sciences : améliorer chez les élèves l'apprentissage en sciences de la composante relative à la nature de la science (Lederman, 1992). Cet objectif est recommandé de manière récurrente depuis

plusieurs décennies dans le domaine de l'éducation scientifique (« *science éducation* »), en tant qu'élément fondamental du « *littérisme scientifique* »[7] (Abell, 1994), but ultime de l'enseignement des sciences qui doit toucher tous les élèves : « *construire une culture scientifique* », développer une « *compréhension convenable de la nature de la science* » ou encore une compréhension de la science « *comme moyen de connaître* ».

Ce dernier point constitue un objectif sur lequel la plupart des institutions scientifiques (Science for All Americans, National Science Education Standards), des scientifiques et des responsables éducatifs s'accordent depuis longtemps (Lederman, 1992 ; Lederman & Abd-El-Khalick, 2000). La longévité de cet objectif est attesté en 1960 par la société Nationale pour les études en éducation, et Hurd (1960, cité par Lederman, 1992) affirme l'existence d'un tel objectif depuis 1920 aux USA. Il a été réaffirmé dans les principales dernières réformes qui jalonnent les prescriptions institutionnelles en matière d'enseignement des sciences.

Cela dit, même si l'objectif est récurrent, les contenus auquel il renvoie évoluent. Au début du XXème siècle, faire comprendre la nature de la science est identifiée à la compréhension

[7] Littérisme, n.m. Ce terme, d'origine récente en langue française, traduction de l'anglais « literacy », relève du domaine de l'éducation. Il a fait l'objet d'une note au Journal Officiel du 30 août 2005 de la Commission Générale de Terminologie et de Néologie du Ministère de l'Education Nationale : *Antonyme d'*« *illettrisme* », *qui ne doit pas être confondu avec* « *analphabétisme* », « *il décrit la capacité à lire un texte simple en le comprenant, à utiliser et à communiquer une information écrite dans la vie courante* ». Plus spécifiquement le littérisme scientifique, selon la définition des *National Science Education Standards (1996)*, « *est la connaissance et la compréhension des concepts scientifiques et des processus requis pour pouvoir être en mesure de formuler un jugement, prendre part aux affaires civiles, culturelles et économiques. Le littérisme scientifique signifie qu'une personne peut poser, trouver ou déterminer les réponses aux questions qui découlent de l'expérience quotidienne. Cela signifie qu'une personne a la capacité de décrire, expliquer et prédire les phénomènes naturels. Il renvoie également à la capacité de lire en les comprenant des articles à caractère scientifique dans la presse de vulgarisation et d'engager une discussion sur la validité des conclusions. Le littérisme scientifique implique qu'une personne peut identifier quelles sont les considérations qui sous-tendent les choix politiques locaux ou nationaux et expriment des positions qui sont scientifiquement et technologiquement bien informées. Un citoyen scientifiquement lettré devrait être capable d'évaluer la qualité d'une information scientifique en se basant sur ses sources, et les méthodes utilisées pour les produire. Le littérisme scientifique suppose également la capacité d'identifier et de peser les arguments qui reposent sur des preuves et de conclure à partir de ces arguments utilisés de manière appropriée.*

de la *« méthode scientifique »*, héritage du positivisme, afin de mieux exercer les facultés intellectuelles des élèves et étudiants. Dans les années 1960, il sera davantage question d'enseignement des composantes de l'« investigation » scientifique (« *science process-skill instruction* »), consistant à faire acquérir des « habiletés » correspondant à des étapes considérées fondamentales dans le traitement des questions scientifiques : d'abord les habiletés « de base » (observer, inférer, mesurer, communiquer, classer, prédire), puis celles dites « intégrées » (contrôler les variables, définir la manière de les mesurer, formuler des hypothèses, interpréter les données, expérimenter et modéliser)[8].

Un déplacement apparent de la définition de la nature de la science dans les années 1970 permet de voir apparaître des instructions en matière d'enseignement telles que celles de l'Université de l'Etat de l'Ohio pour lesquelles la connaissance scientifique :

- est provisoire, donc sujette au changement,
- est destinée à être diffusée car elle constitue un bien commun,
- doit permettre d'obtenir des résultats reproductibles, mais n'est que probabiliste dans le sens où les prédictions ne sont jamais absolues,
- est humaniste, c'est à dire à l'image du projet de l'Homme d'imposer de l'ordre dans la Nature,
- est historique car les connaissances antérieures sont jugées dans leur contexte et ne peuvent être comparées aux conceptions contemporaines,
- est unique en cela qu'elle possède ses propres lois et valeurs,
- est holistique, ce qui signifie que les connaissances scientifiques sont dotées d'une

[8] Proposé par la NARST : National Association for Research in Science Teaching. http://www.narst.org/publications/research/skill.cfm

cohérence interne,

- est enfin empirique dans le sens où les connaissances scientifiques reposent et/ou dérivent d'observation du monde naturel.

Dans les années 1980, la nature de la science apparaît comme « *composante critique de la culture scientifique* ». Ainsi apparaissent dans les définitions relatives à la nature de la science les idées que les observations en science sont déterminées par la théorie, et que la créativité humaine, la structure sociale des organisations scientifiques, le rôle du discours dans la validation des propositions scientifiques ont une importance certaine dans le développement des explications scientifiques. Certains organismes fédéraux (USA) fixent des recommandations précises en matière d'enseignement des sciences :

Le NSTA[9] (1982) indique qu'une conception « convenable » de la nature de la science chez les élèves implique qu'ils comprennent que les connaissances scientifiques ont un caractère empirique et spéculatif, et que les théories scientifiques et la pratique du questionnement ont un rôle central dans l'élaboration des connaissances.

Dans le référentiel « Science for all Americans » (AAAS, 1989), trois composantes sous-tendent une compréhension satisfaisante de la nature de la science :

- le monde est perçu comme intelligible, bien que la science ne puisse fournir de réponse à toutes les questions ;
- bien que le questionnement en science repose sur la logique et sur des bases empiriques, il engage l'imagination et l'invention qui permettent de construire des explications ;
- la science possède une dimension politique et sociale.

[9] National Science Teacher Association

Plus récemment, le département d'enseignement des sciences de l'Etat de Californie, insiste sur l'idée que, bien que la science repose sur des preuves, les activités scientifiques sont construites à partir des théories, ce qui revient à dire que les scientifiques conduisent leurs investigations à partir d'un certain canevas de références.

Jusqu'à aujourd'hui, malgré différentes approches pédagogiques ou de choix de contenus, cet objectif constitue toujours un point de convergence important parmi les réformes majeures en éducation scientifique. Un ensemble de recommandations précises à ce titre figure dans les curricula et est organisé en trois catégories (Abell, 1994, cité par Abd-El-Khalick & Lederman, 2000) :

- les idées scientifiques sont sujettes au changement,
- la science explique, prédit et exige des faits,
- la science est une activité sociale complexe.

A partir de là, les districts scolaires ou les établissements élaborent des programmes qui constituent la manière dont les contenus sont délivrés. Ils incluent la structure, l'organisation, l'équilibre et la présentation des contenus dans les classes.

Ceci est à rapprocher des référentiels majeurs (NSES, 1996, BSL, 1993)[10] à partir desquels les programmes d'enseignement des sciences sont élaborés. Ils accordent tous les deux une place à part entière à la nature de la science en tant que contenu d'enseignement et sont harmonisés sur les contenus à transmettre aux élèves pour chaque cycle du cursus de l'école élémentaire à la fin du lycée. Les contenus sont déclinés à l'intérieur de trois thèmes principaux (le point de vue de la science sur le monde, la démarche scientifique et

[10] The National Academies Advisors to the Nation on Science, Engeneering and Medecine et The American Association for the Advancement of Science ont élaboré deux référentiels majeurs (National Science Education Standards, 1996 ; Benchmarks for Science Literacy, 1993).

l'entreprise scientifique[11]) et mettent l'accent sur les caractères logique et empirique, mais aussi historique et spéculatif de la science (cf. annexes 1). Par exemple, les élèves doivent savoir, entre autres, à la fin du dernier cycle de l'enseignement secondaire (Grade 9 à Grade 12 : 3ème à Terminale) que :

- la science ne peut fournir de réponse à toutes les questions, ni de réponse systématiquement complète aux questions scientifiques,
- les connaissances scientifiques sont provisoires et peuvent subir des modifications et/ou des améliorations,
- la science exige des preuves, explique et prédit, essaie d'éviter les biais, mais ne prétend pas à la vérité absolue,
- la science est une activité sociale complexe organisée en contenus disciplinaires et conduite dans différentes institutions selon un certain nombre de principes éthiques
- les scientifiques participent aux affaires publiques en tant que spécialistes et en tant que citoyens.

L'histoire des sciences occupe également une place importante comme support destiné à transmettre les contenus épistémologiques précédents et « *pour clarifier différents aspects de la recherche scientifique, les aspects humains de la recherche et le rôle que la science a joué dans le développement de différentes cultures* » (NSES, 1996).

La place de l'épistémologie dans l'enseignement des sciences aux Etats-Unis a ainsi évolué au cours du XXème siècle depuis une approche internaliste et systématique, vers une

[11] Cette expression est une traduction du terme « scientific enterprise », terme qui au vu des contenus associés renvoie à l'approche externaliste de la science, ce qui permet d'associer le terme de « démarche scientifique » à l'approche internaliste.

dimension externaliste avec des contenus explicites à faire apprendre. Ceci n'est pas sans rappeler l'évolution de la pensée en matière d'épistémologie qui jalonne tout ce siècle, ainsi que nous l'avons rappelé au chapitre précédent. La France n'est pas restée à l'écart de ce mouvement de pensée, de telle sorte que la philosophie de l'enseignement des sciences semble en avoir également été marquée, avec des stigmates caractéristiques des positions de la noosphère française, notamment lors de deux moments clés que sont la réforme des programmes de lycée de 1902 (Belhoste & al., 1995 ; Gispert & al. 2007) et les travaux de la commission Lagarrigue (1969-1976) (Hulin, 1992).

2 Les prescriptions actuelles dans les programmes d'enseignement des sciences en France

En Europe, les standards de qualification des politiques éducatives spécifiques à l'enseignement des sciences au niveau de la communauté européenne s'articulent selon trois domaines qui comptent l'enseignement de l'histoire et de l'épistémologie des sciences, les deux autres portant sur les concepts et théories scientifiques, l'expérimentation et l'investigation scientifiques (Europe & Science for All, 2006)[12]. Selon l'analyse du réseau d'évaluation « Eurydice » (op.cit.), presque la moitié des systèmes éducatifs en Europe font référence à cet aspect dans leurs lignes directrices émanant des autorités éducatives supérieures.

En France, des objectifs de nature épistémologique apparaissent dans les objectifs généraux et les documents d'accompagnement des programmes de l'enseignement des sciences

[12] Rapport du réseau Eurydice pour la Commission Européenne (2006) : *L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe : état des lieux des politiques et de la recherche*. http://acces.inrp.fr/eedd/climat/recherche/rapport-2006-de-la-commission-europeenne-sur-lenseignement-des-sciences-en-europe/

physiques au Lycée (MEN, 1992, 1999[13]). Il est, selon ces textes, souhaitable de transmettre aux élèves que les connaissances scientifiques sont prédictives, explicatives mais provisoires, historiquement situées et évolutives, conçues dans une articulation entre la théorie et l'expérience, cette dernière entretenant « *un rapport particulier avec le réel* », élaborées dans un « *souci d'intelligibilité du réel* » et une perspective unificatrice à travers « *des démarches intellectuelles individuelles et collectives »*, au cours desquelles il est fait appel à l'imagination et à la créativité, et qui répondent à des « *caractéristiques qui les différencient des autres domaines de la connaissance* ».

Ces aspects généraux explicites permettent déjà d'identifier un point de vue épistémologique selon lequel « *l'exposé axiomatique de la science déjà faite ne correspond pas au mouvement de la science en train de se faire* ». En effet, on peut lire plus précisément que, à travers des pratiques d'enseignement qui privilégient *« avant tout l'enseignement de la démarche scientifique incluant l'apprentissage de l'observation et de l'expérience »,* les enseignants doivent *:*

- « faire comprendre (aux élèves) la démarche intellectuelle, l'évolution des idées, la construction progressive du corpus de connaissances scientifiques »
- « illustrer, à travers chaque séquence d'enseignement, comment la science interroge la nature, quels sont les protocoles théoriques et expérimentaux qu'elle met en place pour valider les réponses obtenues »
- « montrer comment les contenus (enseignés) sont élaborés, quels sont les protocoles expérimentaux et théoriques mis en place par la science au cours de son développement historique pour construire des représentations du monde qui

[13] (BOEN HS n°6 du 12 Août 1999, HS n°2 du 30 Août 2001, documents d'accompagnements et « compléments scientifiques » associés, présentation du programme d'enseignement des sciences physiques au Lycée à l'Académie des Sciences)

permettent de transformer notre propre environnement avec l'efficacité parfois redoutable que l'on connaît, et en quoi ces protocoles sont spécifiques à la science ».

- « amener les élèves à comprendre que le comportement de la nature s'exprime à l'aide de lois générales qui prennent l'expression de relations mathématiques entre grandeurs physiques bien construites. »
- « faire comprendre ce qui différencie la science des autres domaines de la connaissance. »
- Ces aspects généraux trouvent quelques éléments de déclinaison en termes de modèle, d'expérimentation, d'observation, et d'évolution des connaissances.

2.1 modèle et activité de modélisation

Cette composante incontournable, au coeur de la démarche scientifique, articule les deux registres du phénomène et de sa représentation :

- « l'exercice de modélisation du réel est sans doute la démarche la plus importante et aussi la plus difficile dans la démarche scientifique : passer du concret à l'abstrait, de l'observation à sa traduction formalisée demande que l'on soit capable d'extraire du monde réel une représentation abstraite simplifiée d'un phénomène, le degré de simplification dépendant du niveau de compréhension des phénomènes où l'on se situe (par exemple les deux niveaux microscopiques et macroscopiques d'appréhension du monde physique) et nécessite d'identifier les paramètres pertinents et ceux qui sont négligeables dans la situation donnée. Cette activité peut fournir une compréhension qualitative du phénomène et déboucher éventuellement sur une mise en équation dont la résolution fournira des évaluations quantitatives.
- « La modélisation fait appel à des langages symboliques qui, suivant les cas, peuvent être des diagrammes, des schémas ou des expressions mathématiques. Le professeur doit s'efforcer sur des exemples simples de montrer comment se fait la modélisation,

ceci dans toutes les sciences. »

2.2 expérimentation

Etape constitutive des sciences dites expérimentales dont elle assure la légitimité à travers la relation entre les hypothèses qui en constituent le point de départ, l'établissement des faits et leur interprétation théorique :

- « les activités expérimentales établissent un rapport critique avec le monde réel et incontournable, où les observations sont parfois déroutantes, où des expériences peuvent échouer, où chaque geste demande à être maîtrisé. »
- « Une expérience correspond toujours à une interrogation du type : si, dans telle situation, je fais ceci, que va-t-il se passer et pourquoi ? »
- « Les activités expérimentales permettent en effet d'établir le rapport particulier que les sciences expérimentales établissent avec le monde réel, d'où se dégagent une vision et une compréhension unifiées de phénomènes a priori très divers. »

Les recommandations officielles proposent de distinguer deux niveaux d'approche du caractère expérimental des sciences enseignées à travers :

- l'expérience de cours, qui « permet d'établir un premier rapport entre le réel et sa représentation ».
- l'expérimentation, « démarche essentielle qui appartient à toutes les sciences, qui consiste à imaginer, à inventer des situations reproductibles permettant d'établir la réalité d'un phénomène ou d'en mesurer les paramètres. Il faut enseigner à l'élève cette démarche, en acceptant les tâtonnements, les erreurs, les approximations.»

2.3 de l'articulation entre modélisation et expérimentation

« *Savoir élaborer un modèle relatif à un phénomène et le confronter à des résultats*

expérimentaux » : ceci est au cœur de la discipline. Il faut cependant insister sur le fait que « *la pratique expérimentale dans l'enseignement passe par un travail de modélisation*. »

« *Le développement des sciences se fait par un va-et-vient entre l'observation et l'expérience d'un côté, la conceptualisation et la modélisation de l'autre*. »

2.4 du caractère spéculatif et évolutif des connaissances

> *« la science n'est pas faite de certitudes, elle est faite de questionnements et de réponses qui évoluent et se modifient avec le temps ».*
>
> *« Si la science constituée est faite de « réponses », la recherche vivante est faite de « questions ».*
>
> *« Restituer la dimension historique du développement des sciences peut jouer ici un rôle spécifique essentiel. En effet, contrairement au cas de l'art ou de la philosophie, il est toujours possible techniquement d'enseigner une discipline scientifique en faisant abstraction de son histoire : dans la mesure où les théories nouvelles sont construites par une démarche critique concernant les plus anciennes, les connaissances sont régulièrement réactualisées et la discipline peut se raconter au présent. Le caractère cumulatif des sciences dites dures implique qu'elles procèdent à l'actualisation permanente des connaissances qu'elles produisent. L'ancien est sans cesse réinterprété à la lumière du nouveau. »*
>
> *« Connaître les controverses passées, les longues impasses comme les avancées brutales, les grandes synthèses qui surprennent le bon sens et bouleversent la perception immédiate et intuitive du monde. »*

Les programmes de physique et chimie pour la classe de seconde parus en 2010[14]font état d'objectifs généraux parmi lesquels on repère d'emblée l'identification de l'apprentissage des sciences physiques à « la science » : cette dernière est décrite dans un paragraphe consacré à l'objectif d'apprentissage que constitue la « démarche scientifique ». Cette

[14] BOEN spécial n° 4 du 29 avril 2010

description mentionne que :

> *« la science (…) s'attache à comprendre et décrire la réalité du monde à l'aide de lois toujours plus universelles et efficientes, par allers et retours inductifs et déductifs entre modélisation théorique et vérification expérimentale » ;*
>
> *« la science n'est pas faite de vérités révélées intangibles, mais de questionnements, de recherches et de réponses qui évoluent et s'enrichissent avec le temps »*

Former les élèves à une telle démarche (scientifique) consiste à les rendre capables d'« *identifier un problème, formuler des hypothèses pertinentes, les confronter aux constats expérimentaux*

L'activité expérimentale est l'occasion pour l'élève (au singulier) d'effectuer « *la mise au point d'un protocole, sa réalisation (« afin de vérifier ses hypothèses »), la possibilité de confrontation entre théorie et expérience, l'exploitation des résultats* ». Enfin, « *connaître les conditions de validité d'un modèle permet à l'élève d'en déterminer les exploitations possibles et de le réinvestir.* »

Les contenus et savoir-faire classiques listés par la suite dans les programmes sont parfois ponctuellement accompagnés d'indications qui renvoient à ces objectifs généraux et qui leur donnent du sens. Mais ces instructions ne permettent pas aux enseignants peu ou pas formés de considérer cet aspect comme fondamental dans l'enseignement de la physique : les savoirs épistémologiques en jeu ne se retrouvent pas déclinés selon des objectifs spécifiques à l'intérieur des différents contenus et savoir-faire exigibles chez les élèves à l'issue des apprentissages. Les instructions restent vagues sur la manière dont l'enseignement de ces savoirs doit être mis en œuvre et il n'est pas prévu de partie spécifique de la progression à un tel enseignement. Sa mise en œuvre ne peut être que singulière au sein d'une organisation particulière de la progression, laissée à la discrétion de l'enseignant, ou bien à travers l'enseignement des contenus scientifiques.

Les programmes de collège (MEN, 2007) sont de ce point de vue, encore plus équivoques. Il est possible d'identifier quelques instructions relatives à la transmission de connaissances de

nature épistémologique sur les sciences, comme présenter « *les connaissances scientifiques comme une construction humaine progressive et non comme un ensemble de vérités révélées* », « *s'interroger sur ses propres outils de pensée* », « *la spécificité de chaque discipline scientifique conduit à penser différemment le choix du problème à résoudre, le rôle de l'expérience* » et les questions de validation. Mais ces éléments sont isolés les uns des autres, manquent de précision, ne couvrent pas l'ensemble des catégories épistémologiques nécessaires à une réflexion globale sur la nature de la science pratiquée en classe. Comme au lycée, ils ne sont pas précisément mis en relation avec des recommandations sur la manière de les enseigner, si bien qu'il est malaisé de comprendre les objectifs de nature épistémologique visés.

3 Epistémologie et méthodes d'enseignement des sciences

Selon les référentiels nord-américains, les pratiques effectives de la science sont clairement prises comme références pour les démarches d'enseignement-apprentissage des sciences à l'école, avec le double objectif pour les élèves d'acquérir des connaissances et de développer la compréhension des idées scientifiques et des processus à l'œuvre dans leur élaboration par la compréhension de la manière dont les scientifiques étudient le monde. Bien que le constructivisme reste un sujet controversé dans le domaine de l'enseignement des sciences (Osborne, 1996, Matthews, 1998), ce courant est envisagé comme une théorie qui permet aux enseignants de comprendre comment les élèves apprennent la science et d'expliquer les pratiques effectives de la science et les pratiques d'enseignement des sciences (Tsai, 2002).

Les programmes français de sciences physiques proposent aux élèves « *des activités qui tendent à leur apprendre à se former une opinion argumentée, à porter un regard critique, à oser défendre une hypothèse et imaginer des protocoles pour la tester, etc*. ». Selon ces textes, l'enseignement du caractère expérimental de la physique consiste à conduire les élèves « *à fournir une réponse à une situation-problème, par la mise au point d'un protocole, la réalisation pratique de ce protocole, la possibilité d'aller-retour entre théorie et*

expérience, l'exploitation des résultats ». Cette démarche « *permet à l'élève de confronter ses représentations avec la réalité* » et lui « *apprend à observer* ». Pour resituer la science comme une aventure humaine, une première approche, au lycée, de ce qu'est le débat scientifique est indispensable et permet de restituer la dimension historique de la science.

Si le système éducatif en France reste manifestement en retrait par rapport à ce qui se déroule notamment aux Etats-Unis du point de vue de la place, de la précision et de la progressivité des savoirs épistémologiques à enseigner, il a été introduit depuis peu dans les programmes d'enseignement des sciences au collège la démarche d'investigation comme activité d'enseignement-apprentissage (MEN, 2007). Sans précaution particulière pouvant conduire les enseignants à distinguer ce qui relève de la pratique scientifique de la pratique de l'enseignement ou de l'apprentissage de leur discipline, l'enseignement par démarche d'investigation a pour but d'amener les élèves à pratiquer des démarches qui s'apparentent, selon ces textes, aux processus de résolution des questions scientifiques (formulation de problème, d'hypothèses, élaboration de réponses, recherche d'explications ou de justifications, conceptions et exécution de protocoles expérimentaux, analyse et critique des résultats, etc.) et qui « débouchent sur l'acquisition de connaissances, de compétences méthodologiques et sur la mise au point de savoir-faire techniques ». Mais il s'agit aussi d'utiliser la démarche d'investigation comme une approche pédagogique qui permettrait aux élèves, en les mettant en situation de pratiquer la science, de mieux apprendre les concepts scientifiques en construisant eux-mêmes leurs connaissances. On retrouve d'ailleurs cette double visée dans les programmes de réforme de l'enseignement des sciences aux Etats-Unis (Lederman, 2005). Toutefois, selon les textes, pratiquer une « démarche scientifique », revient à « observer, questionner, formuler une hypothèse, manipuler et expérimenter, de percevoir la différence entre réalité et simulation ». L'observation et l'expérience première en classe « révèlent les différentes échelles d'organisation de la matière, la permanence de la matière », « (…) conduisent à se représenter » ce que signifient certains concepts comme par exemple les forces et les mouvements. Ces éléments peuvent être interprétés comme indicateurs dans le programme de fortes options épistémologiques de type empirico-inductiviste. En effet, la démarche

d'investigation, comme l'investigation scientifique en laboratoire (qui constitue l'objet de l'épistémologie), inclut ces étapes des processus scientifiques mais aussi renvoie à l'association de ces derniers avec la connaissance scientifique produite, de telle sorte que celle-ci « a nécessairement certaines caractéristiques [et notamment des caractéristiques épistémologiques] inévitables » (Lederman, 2005).

4 L'épistémologie comme vecteur de la culture scientifique

Il est par ailleurs explicité dans les programmes d'enseignement de physique et de chimie au lycée, que l'enseignement de ces disciplines a pour objectif, entre autres, de transmettre une « culture scientifique » sans que ce terme renvoie à une définition précise et surtout univoque : on peut y relever notamment que *« l'aspect culturel doit être privilégié. (…) L'enseignement conduira donc à faire acquérir à l'élève une culture scientifique élémentaire ».* Le sens attribué au terme « culture scientifique » est sans doute à rechercher en rapport avec ce qui suit : *« Il (l'enseignement des sciences) incitera certains élèves à s'orienter vers les filières à dominante scientifique et à choisir plus tard des métiers liés aux sciences et aux technologies. Mais pour ceux qui choisiront une autre voie, cet enseignement devra les amener à continuer à s'intéresser aux sciences, à ne pas en avoir peur, à pouvoir aborder ultérieurement la lecture des revues scientifiques de vulgarisation sans appréhension, enfin, à participer à des choix citoyens sur des problèmes où la science est impliquée ».* Ce dernier argument indique qu'il s'agirait bien d'une culture au sens d'« *un ensemble des connaissances et compétences en sciences et technologies que les individus ont acquises et utilisent au quotidien et qui leur donne des clés de lecture du monde environnant* ». Nous retrouvons dans cette approche des éléments semblables à ceux du référentiel américain (NSES, 1996). Plus encore, nous pouvons mettre ces recommandations

en relation avec certaines orientations politiques sur la place de l'enseignement des sciences. Ainsi, la question de la diffusion de la culture scientifique a fait l'objet d'un rapport du sénat[15] qui vise à ériger la diffusion de la culture scientifique comme priorité nationale. En matière de politique éducative européenne, on relève (p. 10) dans le Rapport du Conseil "Éducation" au Conseil Européen sur les objectifs concrets futurs des systèmes d'éducation et de formation (2001) de la stratégie dite « de Lisbonne »[16]:

« *Plus nous nous engagerons dans la société fondée sur la connaissance, plus il faudra augmenter le niveau général de culture scientifique dans la société. De plus en plus, il est indispensable de disposer de connaissances spécialisées en sciences et en technologies pour pouvoir contribuer au débat public, à la prise de décisions et au travail législatif. Le citoyen doit avoir des connaissances élémentaires en mathématiques et en sciences pour pouvoir saisir les problèmes et faire des choix - même non techniques - en connaissance de cause*. »

C'est la dimension sociale de la controverse scientifique qui est en jeu ici. Comme nous l'avons vu, le développement scientifique ne procède évidemment pas de la seule logique interne des disciplines. Plus récemment, apparaissent de plus en plus fréquemment des questions de société dans lesquelles la science est directement impliquée. Si les chercheurs travaillent habituellement sur des objets d'étude qu'ils ont construits et ainsi délimités, il n'en est pas de même lorsqu'ils sont placés en position d'experts au sujet de « questions socialement vives » à propos desquelles la société les sollicite lorsqu'elle s'interroge par exemple sur les effets à long terme de l'introduction dans certains organismes de modifications génétiques ou sur les effets du l'activité propres aux sociétés les plus développées économiquement sur le réchauffement possible de la planète. Le scientifique-

[15] rapport du Sénat : Rapport d'information du Sénat n° 392 (2002-2003) de Mme Marie-Christine BLANDIN et M. Ivan RENAR, fait au nom de la commission des affaires culturelles.

expert est placé en situation de se prononcer sur des systèmes dont il ne maîtrise pas, ou mal, un certain nombre de paramètres et rend donc un avis caractérisé par une part inévitable d'incertain, voire d'aléatoire, qui doit nécessairement donner lieu à controverse publique et débat contradictoire, et les décisions, qui engagent la population dans son ensemble, doivent être prises dans ce contexte d'incertain. D'autre part, sur le plan individuel du citoyen non expert qui prend part à ce débat, il lui est très difficile d'élaborer une posture critique à partir de sa compréhension des arguments du scientifique-expert à partir du moment où celle-ci nécessite d'appréhender « a minima » les concepts scientifiques nécessaires. Pour Morin (2000), et son approche des concepts de « *système* » et de « *causalité circulaire* » entre les parties et le tout, les connaissances scientifiques faisant système prennent une place plus importante dans la culture individuelle que l'ensemble des connaissances scientifiques que l'on peut acquérir, et les concepts de l'épistémologie peuvent alors remplir la fonction d'opérateurs de « *reliance* » entre ces connaissances pour en faire un système, dans un sens actif qui met en évidence le lien entre le « bien-penser » et le « bien-agir ». La culture scientifique en tant que système est ici un enjeu majeur dans le sens où elle permet aux individus de s'appuyer sur leurs connaissances scientifiques et les caractéristiques épistémologiques associées comme grille de lecture pour apprécier les avis des experts sur les questions en débat et participer aux décisions. L'acquisition cumulative seule des savoirs transmis par l'école ne sert à rien dans ce cadre là, puisqu'elle ne permet pas aux individus d'appréhender la complexité des concepts développés par les experts. Le débat peut donc se déplacer sur le registre de la scientificité des connaissances « instables » que l'expert présente comme réponses possibles aux problèmes posés.

De telles prescriptions viennent en héritage des réflexions qui jalonnent le XX^{ème} s. sur la place implicite de l'épistémologie dans les rapports entre science et enseignement des sciences. Elles sont marquées par l'histoire de l'enseignement des sciences, et à chaque étape par l'état des questions épistémologiques associées.

Si l'évolution de la pensée sur la nature des sciences physiques se retrouve dans l'évolution

des recommandations sur l'enseignement de ces disciplines, il est légitime dans le cadre d'une recherche en didactique d'examiner ce que les élèves pensent à ce sujet.

5 Points de vue des élèves sur la nature de la science

De nombreux travaux ont été conduits sur cette question, surtout aux Etat-Unis, et cela depuis une cinquantaine d'années. Lederman (1992)[17] propose une revue exhaustive et critique de ces travaux qui portent sur ce que nous appellerons les points de vue ou les conceptions[18] des élèves sur la nature de la science, qui renvoient à l'idée qu'ils peuvent se faire de la nature de la science, à la manière dont ils comprennent et pensent à ce sujet. Nous utiliserons dans ce qui suit de manière indifférente les deux termes, sans que celui de « conception » fasse jamais référence au concept développé en didactique à propos des contenus disciplinaires ou interdisciplinaires, correspondant aux structures de pensée sous-jacentes, fonctionnant comme grille de lecture, d'interprétation et de prévision du et sur le réel.

Une des premières études concerne 43 élèves d'une « high school » de Géorgie et concerne approximativement des élèves de même âge interrogés à l'aide de questionnaires (Wilson, 1954). Il en ressort que ces étudiants pensent que la connaissance scientifique est absolue et les scientifiques ont pour premier objectif de découvrir les lois naturelles et les vérités du monde.

La plus ancienne étude à grande échelle (dimension nationale) des conceptions des étudiants sur la nature de la science est conduite par Mead & Metraux (1957). Un

[17] Toutes les références citées dans ce qui suit et qui concernent des travaux réalisés aux Etats-Unis sont citées dans la revue de question de Lederman (1992).

[18] Traductions littérales des termes « views » et « conceptions », le plus utilisés dans les recherches mentionnées.

échantillon aléatoire de trente-cinq mille étudiants ont été invités à répondre au sujet : « que pensez-vous de la science et des scientifiques ? ». Les résultats obtenus ont été cohérents avec ceux de Wilson, à la fois sur les attitudes envers la science et sur les conceptions sur la nature de la science. Au fil des années, ces recherches ont lentement adopté des approches de plus en plus qualitatives.

En 1961, Klopfer & Cooley mettent en œuvre un « test de compréhension de la science » de type papier-crayon de grande envergure : ils conclurent que les étudiants n'avaient pas des connaissances « convenables » sur ce que sont des scientifiques et sur leurs démarches. Ces résultats sont confirmés par Miller (1963) avec le même dispositif.

Autre vaste étude au niveau secondaire : Mackay (1971) utilise des prétests et postests auprès de mille deux cent trois Australiens entre les grade 7 et 10 (de la classe de 4ème du collège à 1ère du lycée français). Les résultats mettent en évidence que les élèves manquent de connaissances suffisantes sur :

- le rôle de la créativité en science
- la fonction des modèles en science
- le rôle des théories et leur relation avec la recherche
- la distinction parmi les hypothèses, les lois et les théories
- les relations entre l'expérimentation, les modèles et les théories et la vérité absolue
- le fait que la science n'est pas concernée seulement par la collecte et la classification de faits
- ce qui constitue une explication scientifique
- les interrelations et interdépendances entre les différents domaines des sciences.

Plus récemment, Brady (1979) s'est intéressé précisément à un aspect particulier de la nature de la science : la compréhension de la logique de mise à l'épreuve d'une hypothèse. Sur un échantillon de 85 élèves en grade 9, 11 et 12 (3ème, 1ère et terminale), la plupart des élèves, selon leur niveau et leur école, pensent que les hypothèses peuvent être entièrement testées et prouvées à travers le contrôle et la vérification. De tels élèves

semblent selon l'auteur avoir une vue simpliste et naïvement absolutiste sur la nature des hypothèses et des théories : « *celui qui n'a pas conscience que les hypothèses scientifiques et les théories ne peuvent pas être prouvées du tout, mais seulement falsifiées, ne peut pas être considéré comme comprenant réellement la nature de la science.* »

Une échelle sur la nature des connaissances scientifiques (« the nature of scientific knowledge scale ») est développée par Rubba (1977). 30% des élèves examinés à l'aide de cet outil d'analyse pensent que la recherche scientifique révèle une vérité irréfutable et nécessairement absolue. De plus, la plupart des sujets étudiés pensent que les théories scientifiques, avec leur mise à l'épreuve continuelle et leur confirmation, peuvent éventuellement devenir à terme des lois. Sur un échantillon de 102 élèves en grade 7 et 8 (4ème et 3ème), Rubba, Horner et Smith (1981) ont étudié l'adhésion des étudiants aux deux conceptions de la nature scientifique que sont « *le mythe de la vérité absolue* » et « *les lois sont des théories à maturité* » : tous les étudiants, et cela de manière homogène, tendent à concilier les deux aspects dans une position « neutre ». Pourtant, les étudiants de l'échantillon étaient considérés comme les plus compétents et les plus intéressés par la science.

En dehors des Etats-Unis, les recherches francophones les plus significatives sur l'enseignement secondaire ont été menées par Désautels et Larochelle (1989) au Québec sur « *l'idée de science* » chez des adolescents au terme de leurs études secondaires. Ils ont remarqué que « *la plupart envisagent le savoir scientifique comme la divulgation d'une évidence sensorielle ou empirique, sous la forme de chiffres, calculs, formules et lois. Dans le même ordre d'idées absolutistes, ces jeunes conçoivent que c'est un savoir incorruptible, entendant par là un savoir vierge des considérations ou intérêts privés qui marqueraient les autres types de savoir*. »

Au sujet de l'élaboration de ce savoir, ils le perçoivent par l'intermédiaire de deux perspectives qui semblent « *paradoxales* » au premier coup d'œil :

- Une perspective psychologique : les élèves associent la source primordiale de la

découverte à la personnalité du scientifique qui serait doté d'un appareil intellectuel hors du commun. Ils ont une représentation du processus conduisant aux découvertes scientifiques éminemment individualiste. Ce processus tient d'une sorte d'auto-détermination de la personne, associée au vouloir de l'humain, à sa capacité de curiosité et à son besoin de sécurité qui l'obligent à chercher à comprendre. Cette quête anime le scientifique qui, grâce à des activités techniques qui permettent indéniablement le dévoilement du réel, aboutit à la connaissance, comme substrat épuré des contingences et des motivations initiales qui animent sa production, ainsi que l'expression « dé-couverte », « *sortie de sa cachette* » le laisse penser, à l'image de l'archéologue qui « découvre » un objet particulier, le dégage de sa gangue de terre et autres scories qui le maintenaient jusque là invisible .

- Une perspective empirique de la pratique scientifique : la connaissance trouve sa source dans l'évidence empirique (les phénomènes s'imposent au scientifique) et les activités techniques expérimentales, écartant ainsi le chercheur comme agent du processus de production. Les scientifiques antérieurement au premier plan, ne créeraient pas leurs objets d'étude : ceux-ci seraient préformés, préexistants, et renverraient à des phénomènes primitifs comme le coucher du soleil ou la chute d'une pomme. Ils ne créeraient par les faits, ils les constateraient, ils se laisseraient guider par eux, par leur indiscutable évidence que renforce, d'ailleurs, la répétition d'expériences toujours identiques. Le scientifique est alors un esprit dont la principale compétence est de savoir constater une réalité en soi, « *porteur des attributs d'une démarche prescrite et compilateur des manifestations d'une réalité organisée et ontologique* ».

A l'échelle canadienne, Aikenhead (1987) et Aikenhead, Fleming & Ryan (1987) (cités par Désautels et Larochelle, 1989) ont conduit une recherche sur les points de vue de 3000 élèves canadiens qui terminaient leurs études secondaires, à propos de la science, la technologie et la société. Ils notent que 56 % des anglophones et 69 % des francophones interrogés pensent que les modèles scientifiques sont des répliques de la réalité, 50 % des

anglophones et 61 % des francophones croient que des scientifiques qui adhèrent à des théories différentes effectueront les mêmes observations, alors que 69 % des anglophones et 73 % des francophones, en moyenne, pensent que les lois, les hypothèses et les théories sont découvertes et non inventées.

En somme, les élèves manqueraient de manière récurrente de connaissances sur l'élaboration des connaissances scientifiques et notamment le rôle de la créativité, la fonction des modèles, le rôle des théories et leur relation avec le contexte de la recherche (dans le sens que la science n'est pas concernée seulement par la collecte et la classification de faits), les interrelations et interdépendances entre les différents domaines des sciences, entre travaux scientifiques et groupes sociaux. Les élèves manqueraient aussi de connaissances à propos de la distinction entre les hypothèses, les lois et les théories, les relations entre l'expérimentation, les modèles, les théories et la vérité absolue, et ce qui constitue une explication scientifique.

Il ne semble pas y avoir eu de travaux similaires en France. Nous pouvons toutefois citer l'étude menée conjoncturellement sur 12 étudiants de licence à l'université par Venturini et Albe (2002, p. 19), à propos de la relation entre leurs « *rapports personnels à la physique* », au sens de Chevallard (1989, 1992) et leur maîtrise conceptuelle de l'électromagnétisme. Selon la synthèse des éléments participant au rapport personnel à la physique des étudiants, il ressort que la physique « *sert à décrire ou expliquer des phénomènes concrets* », en « *utilisant essentiellement les mathématiques* » (…) « *l'expérience et l'observation* », mais « *ces outils ne sont pas intégrés dans une démarche cohérente de production de savoir, et les théories et modèles n'y figurent pas ».* De plus, « *les liens entre élaboration théorique et investigation sont mal définis »*. Ce type de rapport personnel à la physique qualifié de « *scolaire* » par les auteurs, « *témoigne d'une vision empirico réaliste de la physique éloignée des conceptions contemporaines de cette discipline* ». Il est à noter que ces étudiants présentent tous un « *rapport strictement utilitaire au savoir* », caractérisant une attitude selon laquelle « *le sens de l'étude de la physique réside uniquement dans l'obtention du diplôme* ». Selon une autre étude qui porte sur 414 élèves de 13 à 17 ans de collège et de

lycée général et professionnel (Venturini, 2005), parmi ceux qui présentent des « *rapports idéal-typiques* » caractérisés par une « *mobilisation en physique »* (40 %), qui renvoie à l'idée de fournir « *une activité efficace conduisant à de réels apprentissages* », la grande majorité accorde un intérêt à la discipline pour des questions utilitaires (« *attentes en relation avec un métier, la vie quotidienne ou l'avenir, pour choisir et/ou réussir ces études »*) mais pas pour « *expliquer et comprendre l'environnement* ». Par rapprochement de l'étude précédente, on peut s'attendre de ces élèves qu'ils aient également une conception de la physique qui soit empirico-réaliste.

Les conclusions de cet ensemble de travaux sont particulièrement significatives notamment quant à la stabilité des résultats au vu de la grande variété d'instruments d'investigation utilisés dans ces recherches. Sur la base de ces constats successifs ont été mises en place aux USA des politiques pour développer et évaluer l'efficacité de programmes destinés à favoriser conception satisfaisante de la nature de la science. La stabilité résistante des conceptions erronées furent attribuées initialement à l'existence de problèmes dans les démarches spécifiquement conçues pour atteindre cet objectif (Klopfer & Cooley, 1961, 1963, cités par Lederman (1992)).

Mais ces politiques sont propres au système des Etats-Unis alors que dans la plupart des systèmes éducatifs, comme nous l'avons vu précédemment, il n'existe pas de dispositif spécifiquement adapté à cet objectif. Cela dit plusieurs éléments dans les discours recueillis par Désautels et Larochelle (1989) les portent à penser que les conceptions de la science chez les adolescents ne sont pas étrangères aux représentations qu'ils entretiennent à l'égard de leurs propres activités d'apprentissage scolaire. Plusieurs sujets interrogés évoquent leur expérience scolaire en des termes qui les définissent eux aussi comme des spectateurs (« *on regarde comment ça marche* », « *on voit ce que ça donne* »), ou des « *techniciens- compilateurs* ». Dans le même ordre d'idée, en examinant le rapport personnel des étudiants de licence à la physique, Venturini et Albe (2002, p. 20) notent « *l'influence du mode d'évaluation propre à une institution d'enseignement sur la nature des connaissances que les apprenants y construisent* ». Les types d'évaluation pratiqués dans

l'enseignement supérieur ou dans l'enseignement secondaire sont centrés essentiellement sur la résolution d'exercices de physique et la réplication d'une expérience déjà effectuée en TP. Afin de répondre à ces exigences, « *les étudiants peuvent développer des stratégies conduisant à des connaissances factuelles dépourvues de sens physique (souvent représentées par des formules), à des connaissances procédurales, à une vision uniquement descriptive ou explicative de la physique* ».

En somme, l'image de la science serait tributaire, dans cette optique, de sa facture scolaire et d'une certaine philosophie de l'enseignement. En effet, non seulement y néglige-t-on la plupart du temps, outre les exigences de son appropriation cognitive, celles bien particulières de la production du savoir scientifique. L'étudiant est le plus souvent considéré comme un simple porteur « *de connaissances toutes construites pour lui, porteur donc de connaissances toutes privées de dynamisme et peu portées à évoluer* » (Morf, 1987, cité par Désautels et Larochelle, 1989), ce qui nous place dans une perspective opposée à celle que l'épistémologie propose sur les connaissances scientifiques. C'est dans ce contexte que la transmission des connaissances épistémologiques devient alors un objet de recherche en éducation à part entière, à propos duquel nous consacrons le chapitre suivant.

Chapitre 3 : La transmission des savoirs de l'épistémologie

On a pu constater que la manière dont les élèves conçoivent la science reste très problématique, tout comme les incitations explicites à transmettre des savoirs épistémologiques dans les programmes français. Des travaux ont été conduits aux Etats-Unis dans les années 1960 pour remédier au problème des conceptions des élèves sur la nature de la science : il fallait donc modifier les parcours et les programmes en conséquence. La modification des programmes a été effectuée dans le sens de l'introduction d'une part explicite d'enseignement de l'épistémologie et/ou dans des formes d'incitation des enseignants à introduire de l'épistémologie dans leur enseignement des sciences, conduisant à transmettre aux élèves des savoirs sur la nature de la science à travers l'enseignement de savoirs scientifiques. A quelques cas près, les différentes évaluations des effets de ces dispositions ont mis en évidence qu'elles n'ont pas eu, globalement, les effets escomptés en constatant que les conceptions des élèves sur la science n'évoluaient que très peu et localement, y compris, notamment aux Etats-Unis, en présence d'injonctions institutionnelles explicites et des dispositifs d'accompagnement. (Lederman, 1992)

Partant de l'hypothèse que ce qui est transmis dans la classe est moins en rapport avec les programmes qu'en rapport avec ce que l'enseignant comprend de ces programmes et de leurs contenus, on s'intéressa alors aux conceptions des enseignants sur la nature de la science et à leurs relations avec leurs pratiques d'enseignement des sciences. Ces éléments constituant le contexte de la problématique de cette recherche, nous proposons d'examiner

les résultats des études en la matière. Nous synthétiserons d'abord les résultats d'un certain nombre d'études, consacrées aux différents modes de transmission de savoirs épistémologiques, et notamment ceux qui relèvent des activités conduites en classe et des propos tenus en classe par les enseignants pour enseigner les savoirs scientifiques, puis ceux qui portent sur les conceptions des enseignants sur la nature de la science. Nous proposerons d'éclairer ensuite, à partir d'autres travaux, les relations éventuelles entre les conceptions des enseignants sur la nature de la science et les pratiques d'enseignement des sciences.

1 Transmission implicite

1.1 À travers l'implication des étudiants dans des activités de recherche en laboratoire

La question de la transmission au moins partielle des pratiques effectives de la science a été travaillée par Ryder & Leach (1998) qui ont examiné la manière dont des étudiants de 20 à 22 ans, développent leur compréhension des pratiques effectives de la science, à travers leur travail de projet de fin d'étude dans une université britannique. Une partie des enseignements de licence dans lequel ce projet est inscrit portent sur des éléments à caractère épistémologique que sont la nature du savoir scientifique, la nature de la recherche scientifique, et le fonctionnement de la science comme activité sociale. Ces contenus ont été préalablement abordés à travers des enseignements traditionnels. L'objectif de ce projet particulier est d'impliquer les étudiants en tant que membres dans des groupes de recherche professionnelle en laboratoire dans les universités, donc à ce titre de les mettre en situation d'apprentissage vis-à-vis d'une partie des pratiques effectives de la science, afin qu'il trouvent à donner du sens à travers cette expérience aux connaissances épistémologiques susvisées.

Il ressort de ces travaux que les étudiants placés dans ce contexte d'apprentissage ont appris quelque chose des pratiques effectives de la science, rien que par le fait de travailler parmi

les scientifiques dans l'exercice de leur métier. Mais nombre de connaissances et savoir-faire utilisés usuellement par les chercheurs qui encadrent les étudiants de cette étude, ainsi que leur expertise vis-à-vis des pratiques effectives de la science, sont de l'ordre du tacite et de l'implicite. Les apprentissages sont ainsi de nature différente pour chacun des étudiants, ce qui limite fortement la portée de ce type d'enseignement par rapport à des contenus explicites de programme. Ceci conduit les auteurs de l'article à penser que « *le fait d'immerger les étudiants dans une culture de la pratique scientifique leur donne accès à une connaissance des pratiques effectives de la science qu'ils pourraient difficilement acquérir autrement* », mais ne suffit pas à ce que les étudiants construisent des savoirs sur la science. Le rôle de l'enseignant garde toute sa place dans l'identification des savoirs à transmettre et dans leur mise à disposition des étudiants : « *ces savoirs doivent être incorporés au programme de science à un niveau approprié aux capacités des étudiants, selon un processus de transposition didactique »* (op.cit., p. 54-55).

1.2 à travers les activités menées en classe.

Comme nous l'avons vu dans la partie consacrée à la place de l'épistémologie dans les curricula scientifiques, les programmes français des sciences physiques au lycée notamment n' « incorporent » pas explicitement des savoirs épistémologiques, si ce n'est la mise en avant d'expressions telles que « démarche expérimentale » et « démarche scientifique », mais sans préciser leurs caractéristiques, ni décrire les pratiques scientifiques effectives pouvant servir de référence. Cela a conduit Richoux & Beaufils (2005) à étudier la manière dont les enseignants construisent les séances de travaux pratiques de physique au lycée – «*lieu privilégié du développement des démarches dites scientifiques*» - «*sous l'angle de la transposition didactique élargie à la prise en compte des pratiques de référence, même si le domaine de référence n'est pas une activité sociale précise, mais peut être une activité modélisée*». Les auteurs recherchent dans les activités expérimentales scolaires les invariants d'une transposition didactique interne des pratiques effectives de la science, les caractéristiques qui les font reconnaître comme scientifiques par les enseignants, autrement

dit ce qui, « *consciemment ou non, explicitement ou non, leur permet de reconnaître que l'enseignement qu'ils font est bien celui d'une science dite expérimentale* » (ibid.).

Les auteurs montrent que les activités proposées par les enseignants sont centrées sur l'action (la réalisation d'expériences, les mesures, la modélisation mathématique,…) mais sans référence particulière à des pratiques scientifiques extérieures : l'activité scientifique en classe est tournée vers la réalisation de manipulations à visées monstrative et didactique, exploitées d'un point du vue quantitatif par des calculs sur des données fournies par les mesures réalisées lors de la manipulation. Lorsque l'objectif de l'enseignant est d'aboutir à une description empirique pouvant servir de référence pour une présentation ultérieure de connaissances théoriques, la tâche dévolue à l'élève se limite à la partie expérimentation, acquisition de données et modélisation numérique à partir des données expérimentales. La manipulation d'instruments (matériels divers de physique, instruments de mesure), l'acquisition de données numériques et la mise en œuvre de méthodes de calcul et de représentation graphique (obtention de graphiques, de modèles numériques, de valeurs et de paramètres) sont reconnus par l'enseignant comme caractéristiques de la science qu'il enseigne. Autrement dit, la composante expérimentale de la démarche scientifique est « *réduite à l'instrumental* » et son aspect quantitatif est « *réduit au numérique* » : « *instrumental et numérique constituent les deux invariants de la transposition* » (op. cit.).

Ainsi, les activités scientifiques sont détournées vers « *la réalisation de manipulations qui visent à montrer telle ou telle phénoménographie (en liaison avec le cours) plutôt qu'à démontrer (au sens de la preuve expérimentale)* » (op. cit.). Selon Howe (1985) (cité par Zeidler & Lederman, 1989, p. 772) ce contexte est favorable à ce que les élèves et les enseignants effectuent des associations entre les différentes idées suivantes :

- les données quantitatives sont faiblement faillibles,
- les données qualitatives sont hautement faillibles et ne permettent pas des interprétations rigoureuses
- les faits scientifiques sont des vérités empiriques incarnées dans des propositions athéoriques et purement objectives.

Les activités expérimentales présentées par les enseignants à leurs élèves ne sont ainsi pas exemptes d'une certaine connotation épistémologique et peuvent conduire les élèves à des formes de compréhension particulières de la nature de la science. Dans cet ordre d'idée, les activités pratiques que proposent les enseignants ne sont pas les seules à être concernées. Selon Brickhouse (1990) certains types d'activités mises en œuvre systématiquement, comme les activités de résolution de problèmes, induisent chez les élèves un point de vue sur la nature de la science en adéquation avec ces activités.

1.3 à travers le discours ordinaire de l'enseignant

Zeidler & Lederman (1989) ont exploré la « possibilité d'une transmission des conceptions des enseignants sur la nature de la science à travers le discours ordinaire utilisé en classe pour parler de science » en tant que discipline d'enseignement, sur la base de travaux (Munby, 1976) qui ont décrit une distinction subtile mais significative entre le langage usuel de la transmission de contenus scientifiques et la compréhension subséquente de la nature de la connaissance scientifique par les élèves. Selon eux, « *il est parfaitement possible que lorsque les enseignants utilisent le langage ordinaire sans restriction quand ils parlent de contenus scientifiques, les élèves soient amenés à comprendre ces contenus dans le contexte d'une conception réaliste de la science* ».

Les auteurs ont ainsi analysé des situations d'enseignement dans une des classes de dix-huit enseignants de biologie pour savoir si « *le langage utilisé et la manière dont il est exprimé par les enseignants est perçu et compris par les élèves en terme de contexte que l'on peut associer à une conception réaliste naïve ou instrumentaliste de la science* ». La première considère la connaissance scientifique comme vraie, réelle, existant indépendamment de l'expérience personnelle, et pour laquelle les objets scientifiques (atomes, lumière, forces) sont « découverts » au sens de « sont mis à jour en enlevant le voile qui les dissimule », et ont le même statut ontologique que les objets sensibles ordinaires (chaise, table, ballon). Le point de vue instrumentaliste décrit par Munby (1976) conçoit la science comme un ensemble d'énoncés d'utilité pratique. Une telle conception souligne la nature spéculative

de la connaissance scientifique et met l'accent sur la connaissance scientifique comme un produit de l'imagination et de la créativité humaine, qui permet d'inférer et de construire des modèles arbitraires pour expliquer comment fonctionnent des phénomènes physiques.

Selon les résultats obtenus, il apparaît clairement un rapport entre les conceptions implicites des enseignants sur la nature des sciences telles qu'on peut les analyser à travers les propos qu'ils tiennent et les conceptions des élèves : le discours scolaire ordinaire utilisé pour communiquer des contenus scientifiques offre donc un contexte dans lequel les élèves forment leurs propres conceptions de la science. Brickhouse (1990) montre de son côté que la fréquence et le type de questions que posent les élèves (notamment les questions de type prodédural) sont en relation directe avec les propos et les activités en classe, pour autant que l'on puisse interpréter cela selon un schéma analogue à l'étude de Zeidler et Lederman (op.cit.). Si c'est le cas, alors ces résultats peuvent être clairement rapprochés de l'hypothèse de Toulmin (1958) selon laquelle le « *degré de précision* » dans le discours scientifique conduit à comprendre la science de différentes manières. En décrivant les phénomènes scientifiques avec des propos communs de tous les jours au lieu d'utiliser des commentaires spécifiques, on peut transmettre aux élèves une conception de la nature de la science de type « réaliste naïve ». Sans anticipation de la manière selon laquelle les enseignants présentent leur sujet à leurs élèves, il est tout à fait possible que la perception que les élèves se font de la science les conduit à une incompréhension des lois physiques, théories, ou phénomènes, ou au mieux à une caricature déformée des fondations théoriques de l'entreprise scientifique.

2 Transmission explicite

Ryder & Leach (2008) se sont intéressés dans une étude plus récente aux propos tenus par sept enseignants à leurs élèves alors que les enseignants étaient mis en position d'enseigner l'épistémologie pour la première fois en fin de scolarité du secondaire, et en utilisant des ressources en la matière. L'objectif explicite était de transmettre des savoirs épistémologiques conjugués à des savoirs disciplinaires relatifs à l'électromagnétisme et à la

structure de la membrane cellulaire. L'enseignement, du point du vue des savoirs épistémologiques, était centré sur le développement des modèles théoriques qui, selon ces auteurs, renvoie « *aux manières selon lesquelles les affirmations scientifiques sont développées et justifiées, c'est-à-dire comment les scientifiques évaluent la qualité des données et comment les modèles théoriques sont associés aux phénomènes qu'ils expliquent* ».

L'exploration de la littérature de recherche dans le domaine de l'enseignement relatif à la nature de la science leur a permis d'identifier ce qui à leur sens constitue quatre caractéristiques dans les propos des enseignants qui servent probablement d'appui à l'épistémologie des sciences :

- construire des énoncés convenables sur l'épistémologie
- relier l'épistémologie des sciences et des concepts scientifiques particuliers
- expliciter et justifier les visées à caractère épistémologique des apprentissages
- travailler avec les idées que possèdent les élèves sur l'épistémologie

Les résultats de cette étude montrent que les propos tenus par les enseignants à cette occasion sont majoritairement associés à l'épistémologie des sciences et que les idées avancées prennent vie à l'intérieur de contenus scientifiques particuliers. De plus, contrairement à ce que d'autres travaux ont mis en évidence (Lederman, 1992, 1999), les énoncés à caractère épistémologique que les enseignants ont été conduits à formuler sont tous conformes aux attentes des programmes en la matière.

Les auteurs précisent que cela ne signifie pas que les enseignants auraient fourni des réponses « conformes » aux attentes institutionnelles dans des enquêtes extérieures à la classe sur leur compréhension de la nature de la science, donc que les propos qu'ils ont tenus sur la nature de la science en classe n'est pas forcément en relation avec leur conception de la nature de la science. Il semblerait donc qu'en présence d'un objectif précis en matière de transmission de savoirs épistémologiques, les discours des enseignants sont modifiés en conséquence. Le fait d'expliciter des objectifs d'apprentissage de nature

épistémologique encouragerait les enseignants et les élèves à discuter des aspects de l'épistémologie des sciences dans la classe. En planifiant les leçons, travaillant en classe, « *les enseignants ont besoin de transformer leur compréhension de l'épistémologie en un discours approprié aux élèves* », selon ce que l'on pourrait appeler une transposition didactique interne, même si cette transformation est probablement limitée par des lacunes, comme l'absence d'items d'évaluation centrés sur les questions épistémologiques dans les dispositifs d'évaluation normatifs et l'absence de développement de nouveaux programmes d'enseignement des sciences avec un axe épistémologique plus important.

Cependant, les auteurs notent qu'« il est probable que le fait de fournir de vastes ressources pour les élèves et pour les professeurs pour aider ces derniers à présenter explicitement des idées à caractère épistémologique dans la classe influença fortement [dans le cadre de la recherche] les enseignants à faire de l'épistémologie un aspect important de leur discours en classe ». Le dispositif de recherche a joué ici un rôle important dans la modification de la place de l'épistémologie dans la pratique des enseignants, du moins pendant la durée de l'étude. Cependant, les auteurs ont observé des effets indésirables dans la mise en œuvre par les enseignants de ces objectifs d'apprentissage : notamment, il n'était pas dans l'intention des concepteurs de la recherche que les enseignants finissent par faire apprendre aux élèves des affirmations génériques du type « une preuve expérimentale ne conduit pas d'elle-même à un modèle explicatif ».

Nous venons de voir qu'en contexte scolaire, le discours utilisé par les enseignants pour enseigner la biologie a un effet sur les conceptions de la nature de la science qu'ont les élèves. Puis, lorsque des enseignants de sciences physiques ont pour objectif de transmettre des savoirs épistémologiques en associant leur enseignement à des domaines disciplinaires particuliers, ils sont amenés à un travail personnel d'appropriation des savoirs épistémologiques, et les propos qu'ils utilisent en classe contiennent majoritairement des éléments explicitement en lien avec les objectifs visés. De plus, les chercheurs ont remarqué à cette occasion que les types de conceptions sur la nature de la science identifiés dans les activités (Brickhouse, 1990) et dans les propos (Zeidler & Lederman, 1989) sont identiques à

ceux qu'il était possible de retrouver chez les élèves.

Tout en mesurant la portée limitée d'une mise en relation de ces études qui ne concernent ni la même discipline, ni le même niveau d'enseignement, on peut toutefois supposer que l'enseignement de savoirs épistémologiques contextualisés à des contenus disciplinaires précis peut avoir un effet sur la manière dont les élèves comprennent la nature de la science. En revanche, en l'absence d'un tel objectif, ce que les enseignants de physique reconnaissent comme caractéristique de la science dans le savoir qu'ils enseignent à travers la mise en œuvre d'activités expérimentales en classe est une forme très réduite et déformée de ce qui caractérise épistémologiquement les savoirs savants. On observe donc dans les activités expérimentales l'existence d'un lien entre les activités mises en œuvre par les enseignants avec ce qu'ils pensent des sciences. On peut supposer à titre d'hypothèse que leur propos, qui a aussi de l'influence sur la nature de la science présentée aux élèves, est en relation avec ce qu'ils pensent à ce sujet, qu'il y ait intention ou pas d'enseigner de l'épistémologie. Cela nous amène à voir quelles sont les conceptions des enseignants sur la nature de la science et quelles sont les relations avec leurs pratiques d'enseignement.

3 Points de vue des enseignants sur la nature de la science

Les travaux menés par Roletto (1998) sur des professeurs de l'enseignement du premier et du second degré en France, ont eu pour objet de déterminer les « idées dominantes » des enseignants à propos de la nature de la science. Cette investigation, statistiquement significative, a porté sur 228 enseignants italiens et 212 enseignants français dont 92 étudiants en IUFM. Au plus haut degré de généralité, il en ressort que très peu d'enseignants considèrent que le savoir scientifique est issu d'un processus qui trouve son origine, ainsi que l'affirment les épistémologues contemporains, dans les théories existantes, dans les explications déjà avancées par les scientifiques pour comprendre le monde. Pour la plupart d'entre eux, le savoir scientifique est conçu comme un ensemble de connaissances objectives, neutres et décontextualisées concernant le monde, la nature, les phénomènes naturels, regroupées au sein des différentes disciplines scientifiques.

Ces connaissances seraient, dans un sens, cachées au milieu des évènements du monde où elles attendent de faire l'objet de découvertes par les scientifiques selon une démarche universelle et anhistorique, qui va par étapes à travers les stades de l'hypothèse et de la vérification expérimentale, de l'observation des faits à la découverte des principes généraux, des lois et des théories. Ces connaissances sont donc prouvées, vérifiées, mais aussi remises en cause, réfutées et donc évolutives. L'observation occupe une place essentielle, conférant un caractère absolu aux faits expérimentaux sans prendre en compte le rôle de la théorie dans la conduite des expérimentations et des observations. Est sous-estimée également la valeur des connaissances scientifiques comme instruments de prévision et d'explication, et peu d'intérêt est accordé aux dimensions sociales ou créatives de la discipline.

Chacune des composantes du fonctionnement de la science a fait l'objet d'une analyse particulière dont les principaux résultats sont les suivants :

- l'observation : pour la plupart des enseignants, il s'agit d'une observation analytique, rigoureuse, menée sans idée préalable. Il est du devoir des scientifiques de se limiter à effectuer des constatations neutres des faits à partir desquels ils pourront émettre des hypothèses que l'expérimentation pourra valider ou infirmer. Une moindre partie de l'ensemble des professeurs estime en revanche que l'observation est guidée par les idées du chercheur, idées qui lui permettent de trier le réel, d'orienter son observation sur ce qu'il considère pertinent.
- l'expérimentation : si la majorité des enseignants la considère comme une simple mise en œuvre d'un protocole expérimental ou une série de tests visant à confirmer ou infirmer une hypothèse, elle est réduite, pour environ un quart des sujets, à une simple manipulation ou à la reproduction d'un phénomène observé.
- les lois : à ce propos, tous les avis des enseignants sont convergents. Les lois de la science sont le résultat d'inférences à partir des données d'observation et/ou d'expérimentation. Ces lois ont une existence propre dans la nature, indépendamment du chercheur, et peuvent être qualifiées de « lois de la nature », parce qu'immanentes à la réalité. Plus du quart des enseignants affirment que les lois

sont des principes universels, irréfutables et immuables ayant force de règle, de norme incontournable de la nature.

- les théories : il s'agit pour une partie importante des enseignants de « synthèses inductives », non pas créées mais découvertes, à partir d'un ensemble de données empiriques, de faits individuels. Elles ont pour but d'expliquer, d'interpréter des phénomènes observés, des faits qui se produisent dans la réalité. Seule une petite partie des professeurs affirme en revanche que les théories sont le point de départ du travail du scientifique, car elles lui suggèrent de nouvelles hypothèses, lui ouvrent de nouveaux domaines de recherche. Enfin, une petite proportion pense que les théories sont évolutives, voire réfutables, pour des raisons empiriques, qu'il s'agisse de la manifestation de nouveaux phénomènes ou l'apparition de données nouvelles liées à l'évolution des techniques expérimentales.
- les hypothèses : si pour une petite partie des enseignants, l'hypothèse et la théorie ont le même statut, à savoir provisoires, et toujours corrigibles, un tiers des sujets considère que l'hypothèse est une conjecture occupant le point de départ de la démarche dont la théorie est l'aboutissement, autrement dit une conjecture prouvée par les faits issus de l'expérimentation. Les hypothèses sont le fruit de l'imagination, de l'intuition du chercheur, ou bien tout simplement du hasard.
- l'objectivité des connaissances : si l'objectivité du savoir scientifique est partagée par le plus grand nombre des enseignants interrogés, pour certains d'entre eux, elle est liée à son fondement sur des phénomènes concrets, car élaborée à partir d'activités d'observation et d'expérimentation ayant pour objet le réel. D'autres pensent que c'est la démarche adoptée pour élaborer les connaissances qui les rend objectives. Une autre partie des enseignants estiment que la science est subjective, avec des justifications différentes, mais qui rendent compte d'une conception relativiste/contextualiste de la science : d'une part elle est produite par des individus qui y projettent leur manière de percevoir la réalité, d'autre part les connaissances scientifiques peuvent être réfutées, remises en question ou démenties.
- la « méthode expérimentale » permet par le processus de vérification, de prouver ou

de réfuter les hypothèses initiales, ces dernières pouvant découler directement des faits (inductivisme naïf) ou être le fruit de l'intuition, de l'imagination du chercheur ou du hasard (inductivisme sophistiqué). Cette méthode expérimentale est codifiée dans la séquence OHERIC (Observation – Hypothèse – Expérience – Résultats – Interprétation – Conclusion). Cette conception se retrouve dans la philosophie partagée par les néopositivistes.

Autrement dit, en dehors d'une petite partie des enseignants pour lesquels les conceptions à propos de la formation et du statut du savoir scientifique sont proches de celles que nous avons décrites comme tenant d'une approche contemporaine, les conceptions dominantes sont plutôt empiristes quant à la nature du savoir et inductivistes quant à sa démarche. En raison du fondement empirique de leur représentation de la science, les enseignants concernés partagent, en grande majorité, une conception réaliste des théories scientifiques : celles-ci décrivent le monde comme il est. Ils sont donc porteurs d'options qui renvoient à une épistémologie empiriste (primauté des faits sur la théorie) et réaliste naïve (les objets de la science existent dans le monde où ils sont découverts par les scientifiques).

Une autre étude, en relation avec les travaux précédents (Roletto, Cros, Lefranc, 1995), met en évidence que les enseignants mélangent ces idées avec d'autres, apparentées à des cadres épistémologiques différents, de sorte que l'on peut définir leur conception de la science comme un « *patchwork d'épistémologies* » (Roletto, 1998, p. 27). Ce mélange est le produit d'amalgames « *dont le seul trait commun est le manque de réflexion à propos de la nature de la science et de ses relations avec l'enseignement*. » (ibid.). Dans cet amalgame, on retrouve l'idée relativiste/contextualiste concernant le statut de la science, attribuant une valeur historique et contextuelle du savoir scientifique, identifié à une vérité relative, historiquement déterminée. D'autre part, les points de vue empiristes, liés à la formation initiale, peuvent cohabiter avec une vision constructiviste de la science, qui donne davantage d'importance aux cadres théoriques, aux aprioris, aux aspects sociaux, et qui est liée au développement de leur culture personnelle (Guilbert & Meloche, 1993). De plus, la dichotomie entre réalité, et donc objectivité des objets de la science, et la subjectivité du

chercheur n'est pas résolue de sorte que le savoir scientifique a un statut ambigu. Ce dernier élément est à rapprocher de la contradiction relevée dans les conceptions des élèves à propos du rôle du chercheur dans les études réalisées par Désautel et Larochelle (1989) (cf. p.100-101)

Dans de nombreuses autres études conduites le plus souvent dans des pays anglo-saxons et aux Etats-Unis en particulier (Lederman, 1992 ; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000 ; Berthou-Gueydan et Favre, 1995 ; Glasson & Bentley, 2000 ; Lakin & Wellington ; 1994 ; Porlan & al., 1998 ; Van Driel, Verloop & De Vos, 1998 ; Abd-El-Khalick, 2005), on retrouve une certaine diversité des points de vue sur la nature de la science, mais toutes soulignent l'incohérence qui les caractérise, incohérence résultant d'associations non réfléchies d'idées appartenant à différentes philosophies de la science assemblées sur un fond de savoir commun. Cela dit, ces études mettent en évidence une persistance de points de vue que l'on peut rapprocher des résultats précédents et nous constatons qu'elles entretiennent une certaine proximité avec les points de vue des élèves en la matière. Celui-ci s'apparente pour la majorité à un point de vue qualifié d'empiriste / positiviste naïf. Il renvoie :

- à l'empirisme quant au statut des connaissances auxquelles il confère une supériorité par rapport aux connaissances non scientifiques,
- au réalisme quant à leur rapport aux objets dont elles parlent,
- au positivisme quant à l'existence d'une démarche standard et anhistorique pour assurer la validité des connaissances
- à l'induction pour ce qui est du processus d'élaboration.

A la lecture de ces différentes références, les conceptions des enseignants sur la nature de la science semblent d'autant plus recentrées sur le noyau décrit précédemment que les enseignants ont une grande expérience professionnelle, alors que celles des enseignants novices seraient plus variées. Même si cette conclusion reste à confirmer par une étude spécifique, elle conduit à s'interroger, et ce sera repris plus loin, sur le poids de l'expérience professionnelle sur les conceptions des enseignants.

4 Conceptions des enseignants sur la nature de la science et pratiques d'enseignement des sciences

Les travaux abordés précédemment sur les conceptions des enseignants sur la nature de la science ont été conduits dans une approche qui prend comme hypothèse que les conceptions pourraient, comme le souligne Roletto (1998), influencer la manière d'enseigner les sciences, donc avoir des conséquences sur la manière dont les élèves perçoivent ces dernières. Les travaux décrits dans cette partie reposent sur l'hypothèse « cognitiviste » identique de l'existence d'un lien possible entre les points de vue des enseignants sur la connaissance scientifique et leur pratique d'enseignement en classe. Il s'agit donc, de regarder si « *la compréhension des enseignants sur la nature de la science se reflète dans l'organisation des enseignements et/ou les pratiques d'enseignement en classe* » (Lederman 1999). Cet axe de recherche récurrent pendant les trente dernières années est sous-tendu par l'idée qu'améliorer les conceptions des enseignants sur la nature de la science aura des effets à terme sur ce qu'en apprendront leurs élèves. En effet, « *l'hypothèse d'une relation [entre ces deux aspects] évoque de manière intuitive l'existence d'un lien causal qui va de la compréhension vers l'action. La raison en est évidente : il est communément partagé que ce qu'un enseignant connaît va influencer ce qu'il fait dans sa classe. Il s'ensuit qu'une manière d'améliorer l'"efficacité" des enseignants doit être certainement de s'assurer qu'ils possèdent les connaissances " souhaitables"* (Water-Adams, 2006).

L'étude de Duschl & Wright (1989), réalisée sur la base de pratiques déclarées a été une des premières à conforter cette hypothèse. Les chercheurs ont ainsi montré que les enseignants qui adhèrent à une vision "hypothético-déductive" de la méthode scientifique, adhèrent également à un enseignement de la discipline sous la forme de connaissances propositionnelles. Ils ont également montré que la nature et le rôle des théories, généralement absents des conceptions épistémologiques des enseignants, tiennent peu de place dans les décisions qu'ils prennent quant aux contenus à enseigner et à la manière de le faire.

Les conclusions auxquelles est parvenue Brickhouse (1990) à partir cette fois de l'analyse de pratiques observées d'enseignement sont de même nature. Elle a examiné chez trois enseignants « *le lien possible entre* [leurs] *points de vue sur l'élaboration de la connaissance scientifique et les méthodes qu'ils utilisent pour aider les élèves à construire une connaissance de la science* », que ce soit dans des cours consacrés à la nature de la science ou non. Elle observe que bien que les conceptions des enseignants les plus expérimentés divergent fortement, chacune d'entre elles reste cohérente avec les buts pédagogiques qu'ils visent. Ainsi par exemple, alors qu'un des enseignants conçoit l'observation et l'expérimentation comme un processus guidé par la théorie dans l'élaboration des connaissances scientifiques, les objectifs d'enseignement et les pratiques observées révèlent que les élèves utilisent les théories pour résoudre des problèmes. D'autre part, l'enseignant pour lequel l'élaboration des connaissances répond à un processus purement inductif, et pour lequel la science progresse par accumulation de faits plutôt que par changement de théories, a pour objectif, en classe, que les élèves connaissent les contenus scientifiques. De plus l'analyse des pratiques d'enseignement chez ces professeurs a montré que ces conceptions n'influencent pas seulement les cours explicitement consacrés à la nature de la science mais aussi façonnent de manière implicite la transmission des savoirs disciplinaires.

Si ces études renforcent l'hypothèse de l'existence d'un lien entre conceptions sur la nature de la science et les pratiques d'enseignement des sciences, il manque toutefois pour l'étayer davantage, « *de décrire la manière dont cette connaissance influence l'enseignement*» (Brickhouse, 1990). Pour cet auteure, la raison de ce lien provient de l'articulation entre les conceptions des enseignants relativement à la nature de la science et celles relatives à l'apprentissage : les enseignants expérimentés de l'étude ont des conceptions sur la construction des connaissances par les scientifiques et sur la construction des connaissances par les élèves qui forment un système cohérent. Pour Hollon et Anderson (1987, cités par Brickhouse, 1990), les enseignants « *agissent à partir d'un* [tel] *système de conceptions cohérent et qui se renforce lui-même* ». Pour l'un des trois enseignants, les théories scientifiques jouent un rôle important dans le sens attribué aux observations, et dans sa

classe, il attend le même comportement de ses élèves dans leurs apprentissages. Il pense aussi que la science progresse à travers de nouvelles interprétations d'observations anciennes, et que les élèves apprennent la science, non seulement en assimilant de nouvelles informations, mais aussi en repensant autrement les informations dont ils disposaient déjà. Les deux autres enseignants considèrent que la science progresse par accumulation de faits plutôt que par changement de théories. Ainsi, ils s'attendent à ce que leurs étudiants apprennent en accumulant des éléments d'informations. Selon Brickhouse, les différentes conceptions identifiées chez ces enseignants pourraient avoir pour origine les différences observées dans leurs parcours de formation initiale et leurs expériences professionnelles. Des trois enseignants, celui qui possède la formation la plus "solide" en science présente aussi la compréhension la plus "sophistiquée" de la nature de la science et de son évolution, et celle-ci est reflétée dans des pratiques de classe plus "changeantes".

Toutefois, la portée de ces études de cas reste limitée : nous avons vu précédemment que les conceptions des enseignants se déployaient pour la plupart d'entre eux autour d'une composante commune identifiée comme tenant de l'empirisme et du positivisme. Les enseignants pour qui les théories scientifiques jouent un rôle dans le sens attribué aux observations sont donc largement minoritaires. Par ailleurs, les études réalisées à grande échelle par Zeidler et Lederman (1989) et Tobin & McRobbie (1997) ont mis en évidence pour l'une qu'il n'était pas possible « *de distinguer statistiquement les pratiques d'enseignants qui ont des conceptions différentes sur la nature de la science* »[19], et pour l'autre que le curriculum « *ordonné* » par les enseignants de science n'est pas en accord avec leurs conceptions sur la nature de la science. Une autre étude de cas conduite avec cinq enseignants de biologie (Lederman, 1999) aboutit à la conclusion que, en l'absence

[19] En examinant des situations d'enseignement dans lesquelles ils identifient des variables caractéristiques de la nature de la science, ils ont mis en évidence qu'il n'était pas possible « *de distinguer statistiquement les pratiques d'enseignants qui ont des conceptions différentes sur la nature de la science* ».

d'objectifs particuliers d'enseignement de savoirs épistémologiques, « *les conceptions des enseignants sur la nature de la science n'influencent pas nécessairement les pratiques de classe* », et ceci même s'ils présentent une compréhension de la nature de la science considérée comme proche de la compréhension « *souhaitable* ». La raison en est qu'ils accordent peu de priorité à l'enseignement de ces questions par rapport à d'autres objectifs ou d'autres priorités qui leur semblent peser davantage sur l'enseignement, comme la gestion de la classe (pour les enseignants débutants), le sentiment de réussite, de confiance en soi, une attitude positive par rapport à la science, la motivation des élèves, les évaluations, etc. Dans le même sens, Tobin & McRobbie (1997) mettent en évidence que des facteurs d'une autre espèce ont beaucoup plus d'influence sur les pratiques d'enseignement que les conceptions relatives à la nature de la science, à savoir les facteurs relatifs à l'enseignement et à l'apprentissage, les rapports de force avec la classe et les contraintes perçues comme agissant sur l'enseignement. Même s'ils ne sont pas de même nature, ces différents résultats permettent de questionner sous un angle différent les relations éventuelles entre les conceptions des enseignants sur la nature de la science et les pratiques d'enseignement.

De plus, le développement des méthodologies dans cet axe de recherche ont mis en évidence des problèmes liés à l'identification chez les sujets de leurs conceptions sur la nature de la science : à ce propos en effet, ils font souvent référence à des situations d'enseignement ou d'apprentissage des sciences. Ainsi, des années d'expériences d'enseignement des sciences influencent probablement les points de vue de ces enseignants sur la science, et vice versa. Les conclusions qui précèdent mettent en évidence la faiblesse d'un tel modèle linéaire entre la compréhension des enseignants sur la nature de la science et leurs pratiques d'enseignement selon lequel « *les pratiques des enseignants seraient influencées directement et de manière prédictive par leur compréhension théorique de la nature de la science* ». (Water-Adams, 2006, p. 921) et incitent à penser plus précisément les relations entre différentes conceptions sur la science, l'enseignement et l'apprentissage.

5 Relations entre les conceptions des enseignants sur la nature de la science et sur son enseignement.

Soutenant ce point de vue, Porlan & al. (1998) ont identifié des relations chez des enseignants entre les points de vue sur la science qualifiés d'empirico-inductiviste et les conceptions de l'enseignement lorsqu'ils sont en position d'élaborer une « proposition didactique » sur des contenus disciplinaires précis à enseigner, en l'occurrence « la réaction chimique ». Ils ont mis en évidence essentiellement deux choses : les conceptions générales des enseignants sur la nature de la science tiennent majoritairement d'une tendance empirico-inductiviste, mais parmi les enseignants chez qui il a été identifié de telles conceptions, tous ne présentent pas les mêmes conceptions générales relativement aux processus d'enseignement-apprentissage. Mais « *au moment d'élaborer une proposition didactique* » sur des contenus disciplinaires précis à enseigner, en l'occurence la réaction chimique, cette diversité des conceptions didactiques générales disparaît : des conceptions de type « technologiques » ou « alternatives » « *sont polluées par des approches plus simplistes (qualifiées de « traditionnelles ») sur l'enseignement et l'apprentissage lorsqu'elles entrent en contact avec le concret*.

L'article de Tobin et Mc Robbie (1997) déjà mentionné précédemment, rapportant que le curriculum « en acte » des enseignants de sciences pourrait être en désaccord avec leurs conceptions sur la nature de la science, apporte un autre élément : les auteurs suggèrent qu'un ensemble d'autres croyances pourraient avoir bien plus d'influence sur leurs conceptions sur la nature de la science : notamment, celles relatives à l'enseignement et à l'apprentissage, les rapports de force à l'intérieur de la classe et les contraintes perçues comme agissant sur l'enseignement (p. 336). Dans le même temps, Nott et Wellington (1996) parviennent à une conclusion significative : ils établissent que la connaissance des enseignants sur la nature de la science pourrait être aussi bien formée par leur enseignement qu'informer leur enseignement.

Water-Adams (2006) infléchit l'équivalence de ces influences mutuelles en ajoutant que les

formes de compréhension des enseignants de la nature de la science peuvent être au moins partiellement influencées par leurs conceptions sur l'éducation en général et l'enseignement, et l'influence va plutôt de la pratique de l'enseignement à la compréhension de la nature de la science et non le contraire.

Cette nouvelle perspective, déjà amorcée par Brickhouse (1990), abandonne l'hypothèse d'une causalité linéaire (Water-Adams, 2006) entre les pratiques d'enseignement des sciences et les conceptions des enseignants sur la nature de la science, pour celle plus complexe d'influences mutuelles entre les pratiques d'enseignement et un ensemble complexe de conceptions, ensemble d'autant plus cohérent qu'il se renforce avec les années d'expérience d'enseignement.

Enfin, d'autres travaux dans ce sens expliquent que les conceptions des enseignants sur la nature de la science sont plutôt difficilement distinguables de leurs conceptions sur l'enseignement et l'apprentissage avec lesquelles elles sont intimement imbriquées. Lyons (1990) est vraisemblablement le premier à suggérer que la compréhension de la nature de la science pourrait être imbriquée avec d'autres épistémologies qui se rapportent à la classe, telles que celles en relation avec l'enseignement et l'apprentissage (Laplante, 1997). Si c'est le cas, il pourrait y avoir échange et influence mutuelle entre elles. Tsai (2002) a poussé cette idée plus loin, en proposant qu'une compréhension des enseignants sur la nature de la science se trouve « nichée » au niveau des croyances des enseignants :

> *« les conceptions des enseignants sur la nature de la science […] sont en relation avec leurs conceptions sur l'enseignement et l'apprentissage. Cela dit, ces différentes conceptions se présentent comme des « épistémologies nichées les unes dans les autres ». Changer les conceptions des enseignants sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences devrait être un préalable à un changement de leurs idées sur la science, ou vice et versa. » (Tsai, 2002, p.780).*

Il établit que les conceptions de la majorité des enseignants (de son étude) sur la science, son enseignement et son apprentissage entretiennent de très fortes relations, et « *peuvent être considérées comme un système formant un tout* », à partir d'une méthodologie sous la

forme qu'un questionnaire visant à obtenir séparément des données relatives aux trois types de conceptions. Les données sont analysées en référence à trois catégories définies a priori (« traditionnel », « procédural » et « constructiviste »). Chaque catégorie contient des éléments caractéristiques de points de vue sur la science, son enseignement et son apprentissage, tirés de références en la matière. Pour 71 % des enseignant pour lesquels les conceptions sont imbriquées, elles relèvent de la catégorie « traditionnel », qui renvoient au noyau dur de nature empirico-inductiviste des conceptions des enseignants sur la science. 24 % des enseignants présentent des conceptions sur l'enseignement et l'apprentissage appartenant à la même catégorie (« traditionnel »), mais sans relation avec leur conception sur la nature de la science.

Ces résultats sont de nature à conforter l'hypothèse selon laquelle les conceptions des enseignants sur la nature de la science peuvent ne pas entretenir de relation avec leur manière d'enseigner qui sans doute est plus proche de leurs conceptions sur l'enseignement et l'apprentissage. Comme la conclusion du chapitre précédent le laissait pressentir, il ne semble donc plus possible d'envisager d'établir un simple lien direct entre la compréhension de la nature de la science chez les enseignants et leurs pratiques d'enseignement. Ce qui apparaît dans les pratiques des enseignants comme tenant d'une influence de leur compréhension de la science ne peut pas être interprété sans prendre en considération leurs convictions et leurs expériences en matière d'enseignement, ainsi que d'autres contraintes qui pèsent sur les pratiques comme les instructions relatives à l'enseignement des savoirs scientifiques.

Une suggestion semblable est faite par Gwimby et Monk (2003), qui suggèrent qu'il pourrait y avoir une « association » entre les circonstances de classe et les points de vue des enseignants sur la philosophie des sciences, impliquant par là que le contexte de classe pourrait être le facteur décisif dans la détermination des points de vue d'un enseignant à la fois sur l'enseignement des sciences et sur la nature de la science.

Si ce lien existe, d'autres études en précisent la forme. Nott & Wellington (1996) soulignent ainsi que la connaissance des enseignants sur la nature de la science peut aussi bien être

façonnée par leurs pratiques d'enseignement qu'informer cette pratique. Dans une étude sur l'enseignement des sciences dans le primaire, Water-Adams (2006) décrit la dynamique de l'articulation conceptions/pratiques en examinant dans le temps le processus d'aller retour entre pratique d'enseignement de la NOS et réflexion sur la pratique. C'est dans l'analyse de cette dynamique que sont identifiés des éléments relatifs aux trois types de conceptions (NOS, enseignement des sciences et apprentissage) : au long de ce processus, les formes de compréhension des enseignants sur la nature de la science peuvent être au moins partiellement influencées par leurs conceptions sur l'éducation en général et l'enseignement, et l'influence pourrait aller de la pratique de l'enseignement à la compréhension de la nature de la science et non le contraire. Ainsi, si l'on observe davantage de relations entre ces différentes conceptions chez les enseignants confirmés par rapport aux enseignants débutants, ceci peut être interprété comme un manque d'intégration entre les différents types de savoirs qui interviennent dans la construction des pratiques des enseignants, les enseignants débutants faisant preuve de moins de cohérence que les enseignants expérimentés (Méheut, 2006).

La figure (2) suivante présente de manière synoptique les principaux travaux qui constituent le cadre de cette recherche

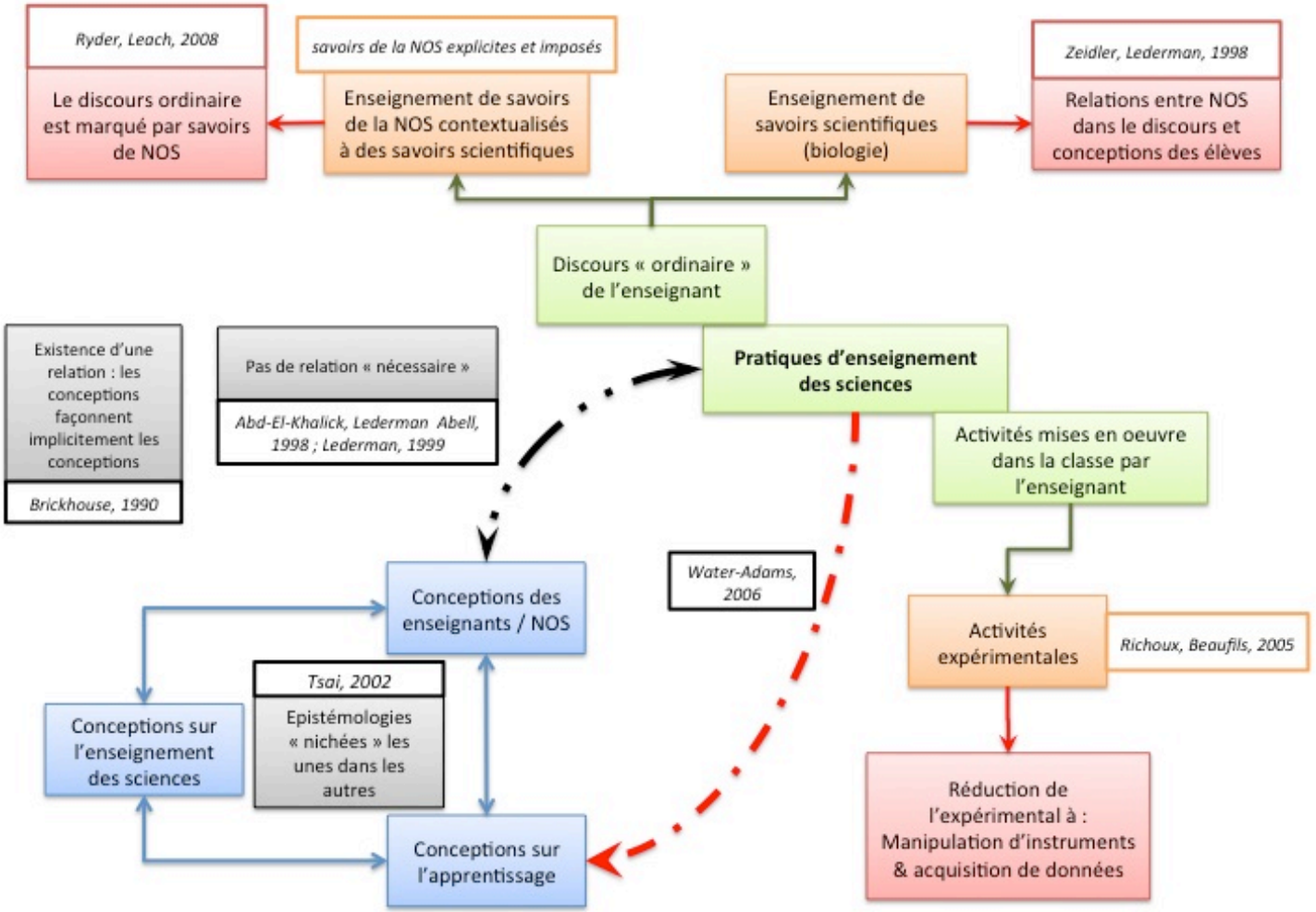


Fig. 2

Tableau synoptique des

principaux travaux sur les

s entre les

ions des

ants sur la NOS et

atiques

gnement

6 Vers une relation duale entre pratiques d'enseignement des sciences et conceptions de la NOS

Essayer d'identifier les rapports entre les connaissances des enseignants et leurs pratiques d'enseignement constitue depuis longtemps et de manière persistante un centre d'intérêt pour la recherche, au-delà même de ce qui concerne la nature de la science.

Mais les recherches dans ce domaine ont montré très tôt qu'un modèle présentant une simple linéarité de la connaissance vers la pratique était difficilement tenable, et ont convergé vers des modèles à complexité croissante. Un des problèmes majeurs est déjà celui de l'identification des connaissances des enseignants, notamment par l'utilisation des questionnaires papier-crayon qui ne permettent d'accéder qu'à des connaissances déclaratives, très partiellement en lien avec ce qui se passe en classe.

Lederman (1992, 1999) a participé grandement à la prise en compte des contraintes de situation qui sont des facteurs importants dans la manière dont les connaissances des enseignants sont mises en œuvre dans la classe. Ces facteurs que sont « *la gestion de la classe, les principes organisateurs de la classe, les préoccupations vis-à-vis des compétences des élèves et de leur motivation, les contraintes institutionnelles, l'expérience d'enseignement et le manque de ressources* » (Abd-el-Khalick & Lederman, 2000, p. 670) agissent comme des contraintes qui s'exercent sur les contenus. Toutefois, ces auteurs semblent adopter encore un rapport linéaire entre la connaissance et la pratique. Ils indiquent que ces « facteurs » ont été identifiés comme contraignant la traduction des conceptions des enseignants sur la nature de la science dans leur pratique. Cela signifie sans doute qu'en leur absence, les actions des enseignants seraient influencées directement et de manière prédictible par leur pensée théorique.

Les résultats apportés par Tobin et Mc Robbie (1997, p. 336) et Nott & Wellington (1996, p. 284) troublent l'approche intuitive d'un mode linéaire d'une influence entre connaissances théoriques et pratique. Si la connaissance des enseignants de soi-disant idées théoriques qui

sous-tendent leurs pratiques peuvent être formées par l'acte d'enseignement lui-même, une simple linéarité n'est pas possible. D'autres éléments qui déterminent la nature de l'acte d'enseignement lui-même deviennent potentiellement importants dans le développement d'une compréhension théorique.

Ainsi, au moins aussi importante que les connaissances des enseignants est ce que les articles anglo-saxons qualifient de « compréhension tacite », qui regroupe tous les éléments qui renvoient à des connaissances convoquées par l'enseignant en classe, mais aussi plus largement aux idées, croyances et valeurs, qui ont été toutes reconnues comme des éléments à part entière de l'action enseignante (Water-Adams, 2006). Le développement des méthodologies ont ainsi mis en lumière l'importance de ces dernières dans la compréhension des pratiques enseignantes observées, montrant la faiblesse des modèles linéaires simples connaissances-pratique (Lakin & Wellington, 1994 ; Laplante, 1997 ; Waters-Adams & Nias, 2003), et privilégiant ainsi une nature dialogique, voire dialectique de la relation entre la pratique et la pensée des enseignants. Water-Adams (2006) a proposé jusqu'ici le modèle le plus avancé des relations entre pratiques d'enseignement et conceptions des enseignants, en faisant peser davantage dans le jeu des influences mutuelles les pratiques d'enseignement sur les conceptions relatives à l'enseignement de la discipline, et par voie de conséquence sur les conceptions sur l'apprentissage, puis sur la nature de la science.

Les différents travaux rapportés permettent de se rendre compte que le modèle visant à comprendre les pratiques de l'enseignement de l'épistémologie dans l'enseignement des sciences évolue dans le sens d'une complexité croissante : d'abord l'hypothèse d'un lien causal entre conceptions des enseignants sur la nature de la science et pratiques d'enseignement, puis l'impossibilité d'identifier ce lien en raison de facteurs qui l'occultent en grande partie, puis des pratiques d'enseignement qui entretiennent des relations dialogiques avec des conceptions sur la NOS nichées dans des conceptions relatives à l'enseignement et à l'apprentissage.

L'ensemble de ces recherches ont contribué à modéliser la relation entre les pratiques des

enseignants et leurs conceptions relatives au savoir à enseigner en prenant en compte l'existence de contraintes propres à l'enseignement et qui façonnent cette relation. Cette approche ne va pas sans nous rappeler les recherches conduites en France sur les rapports entre pensée et action, considérant que la pensée s'actualise dans l'action, en rapport avec les savoirs en jeu et sous le joug des contraintes qui pèsent sur leur mise en œuvre dans le système didactique.

Ce lien dual entre pratique et conceptions (ou connaissances) a ainsi été pensé entre autres par Chevallard à travers les concepts de rapport aux objets et d'organisations praxéologiques au sein de la théorie anthropologique du didactique (TAD) (Chevallard, 1992).

Chapitre 4 : Pratiques d'enseignement et « rapport aux objets de savoir » dans la théorie anthropologique du didactique

Conçue dans le prolongement de la transposition didactique, l'approche anthropologique du didactique permet de comprendre les phénomènes d'enseignement en relation avec des rapports à des objets de savoir en jeu au sein d'institutions. Plus précisément, les concepts de praxéologies didactiques et disciplinaires, sortes d'interfaces entre les pratiques et les théories qui les légitiment, permettent d'envisager le caractère situé et intégré des savoirs de l'enseignant dans ses pratiques professionnelles. Nous nous proposons de donner dans le chapitre suivant un aperçu de cette approche et des concepts qu'elle utilise.

1 Le savoir comme objet

La TAD introduit les notions d'objet et de rapport à cet objet. Tout d'abord, la notion d'objet est prise dans son acception la plus large, à savoir «*toute entité, matérielle ou immatérielle, qui existe pour au moins un individu ou une institution, sans différence d'approche culturelle»* (Chevallard, 2003). Au- delà de « *tout produit intentionnel de l'activité humaine »* (op. cit.) comme une œuvre d'art ou un pâté de sable, on peut aussi bien qualifier d' « objet » tout savoir de la physique comme le « concept de force en mécanique ». Plus spécifiquement, les les concepts de l'épistémologie, tels que le modèle, la loi, l'expérience, l'observation, etc.. peuvent à ce titre être considérés comme objets de savoir parce que faisant l'objet d'un

enseignement et d'un apprentissage, et à ce titre constituer un savoir : « savoir modéliser », « expérimenter », « utiliser un modèle scientifique pour expliquer ou prédire un événement », « vérifier la validité d'une hypothèse » sont autant d'objets susceptibles d'être enseignés et/ou appris comme autant de savoirs.

2 Rapport personnel à un objet

Le rapport personnel d'un individu à un objet est défini par *« le système de toutes les interactions que l'individu peut avoir avec cet objet – que le sujet le manipule, l'utilise, en parle, en rêve, etc.* » (Chevallard, 2003). Autrement dit, un objet n'existe que parce qu'il est «*objet de connaissance*» (Chevallard, 1992). Ainsi, «*connaître un objet*», au sens de cette théorie, signifie que la personne ou l'institution, a un rapport à cet objet, quelle que soit la nature de ce rapport, qui relève de « *savoir, de savoir faire, de conceptions, de compétences, de maîtrise, d'images mentales, de représentations d'attitudes, de fantasmes, etc., du sujet à propos de l'objet de savoir »* (Chevallard, 1989, p. 227).

Cette notion de rapport personnel à un objet est très large et selon nous recoupe voire englobe le terme de « *view* » utilisé dans la littérature anglo-saxone[20]. Elle contient cependant une dimension essentielle qui permet de mieux la préciser par rapport à ce dernier : la singularité pour un enseignant de l'acte d'enseignement d'un savoir dans une institution, à laquelle s'ajoute l'inscription de ce savoir dans un contexte social et culturel plus large, notamment celui des programmes.

[20] Le terme de « *view* » renvoie habituellement en français à ceux de « compréhension », « point de vue », « opinion personnelle », à propos de quelque chose.

3 Rapport institutionnel

Selon l'approche anthropologique du didactique, on ne peut dire d'un sujet qu'il sait ou ne sait pas, mais seulement qu'il sait dans les termes d'une institution particulière. Le terme « *institution* » est pris dans ce cadre au sens sociologique, à savoir qu'il peut faire référence à un groupe d'amis ou de collègues, à la famille, au club de sport aussi bien qu'à l'entreprise, mais aussi à l' « *école* », à la « *classe* ». Parmi les différents travaux qui utilisent ce cadre théorique, on retrouve chez Bronner (2003) le concept d'institution associé à *« l'enseignement des mathématiques dans le secondaire* », et chez Venturini & Albe (2002), « *l'enseignement de la physique dans le secondaire »* et *« l'enseignement de la physique à l'université* ». Ainsi une institution «connaît» un certain nombre d'objets, avec lesquels elle entretient des rapports institutionnels, dans le sens où les individus qui y sont assujettis entretiennent avec ces objets des rapports particuliers.

Cette « *anthropologie cognitive* » (Chevallard, 1992) indique qu'une personne[21] est assujettie (au sens de « *soumise* » et « *soutenue par* » (op.cit.)) à un grand nombre d'institutions. Ces assujettissements contribuent à créer ou à modifier le rapport personnel de l'individu à des objets auxquels l'institution a un rapport. Mais un bon sujet, du point de vue de l'institution, est un individu pour lequel le rapport personnel à l'objet est conforme au rapport que l'institution attend d'un sujet qui occupe une position particulière. Or «*conformité n'est pas identité*» (op.cit.) : une personne n'est en définitive jamais un bon sujet d'une institution particulière, dans la mesure où elle tisse des rapports simultanément à de multiples institutions qui délimitent des objets de savoir et des attitudes. Par conséquent le rapport institutionnel « *n'est le rapport personnel d'aucune personne* ». Toute personne est un « *émergent complexe* » d'assujettissements institutionnels « *présents et*

[21] La notion de personne renvoie « au couple formé par un individu et le système de ses rapports personnels à un moment donné de l'histoire de l'individu ».

passés » et « *le rapport institutionnel* (d'une institution particulière comme l'école ou le lycée) *(pour le professeur comme pour les élèves) se constitue en concurrence avec d'autres rapports au savoir, nés dans d'autres institutions*. » (Garnier & Amade-Escot, 2003, p.25). En définitive, on peut dire qu'une institution «connaît» un certain nombre d'objets, avec lesquels elle entretient des rapports institutionnels, à travers les rapports particuliers qu'entretiennent des individus qui lui sont assujettis, rapports qu'ils tendent à mette en conformité avec ce que l'institution attend d'eux.

Autrement dit, dire d'un sujet qu'il sait ou ne sait pas nécessite de prendre en compte la position que le sujet occupe dans une institution et ce que l'institution attend de ce sujet relativement à un objet de savoir particulier. La nature située du savoir ainsi marquée par l'assujettissement à une institution est celle à laquelle il est possible d'accéder via la composante publique du rapport personnel à l'objet en question.

4 Composantes publiques et privées du rapport au savoir

Chevallard (1992) distingue deux composantes du rapport personnel d'un individu :

- une composante publique, qui se donne à voir dans une institution, car elle correspond à ce que les sujets « *mettent en visibilité à travers divers canaux et systèmes de signifiants* » (Schubauer-Leoni & Ntamakiliro, 1994), ce qui la rend publique relativement à cette institution ;
- une composante privée, « *invisible dans cette institution et donc [qui] échappe à l'évaluation de conformité par cette institution* » (Chevallard, 1992), car élaborée par l'individu « *pour lui-même et qu'il ne juge pas utile ou nécessaire de rendre visible* » (Schubauer-Leoni & Ntamakiliro, 1994).

Pourtant, comme le rappelle Chevallard (op. cit., p. 91), ce clivage n'est pas absolu, «*il est relatif à l'institution I, et ce qui du rapport personnel se dérobe à telle institution pourra apparaître en pleine lumière à telle autre*». Schubauer-Leoni & Ntamakiliro (1994) précisent que l'invisibilité de la composante privée dans une institution « *ne signifie pas que*

l'observateur et surtout le chercheur qui analyse les corpus de la recherche ne puissent en inférer des aspects et les interpréter à partir de l'ensemble des observables ». Pour accéder à la composante privée, l'observation des pratiques semble ne pas suffire : certaines recherches (Garnier & Amade-Escot, 2003, Brière-Guenoun & Verscheure, 2010) ont fait état de la nécessité de recourir la plupart du temps à des entretiens, soutenant que l'investigation du rapport au savoir de l'enseignant, dans ses composantes publique et privée est un moyen d'éclairer et de comprendre l'action didactique et ses déterminants, dans la mesure où il constitue le versant cognitif du système incorporé conception-pratique.

Toutefois, la notion même de dichotomie entre *rapport public* et *rapport privé* nous conduit à penser qu'un entretien conduit par un chercheur avec un enseignant portant sur sa pratique implique d'autres positions des individus dans une autre institution dans laquelle se joue la même dichotomie public/privé. Compte tenu de la spécificité de notre objet d'étude (l'épistémologie) qui ne se laisse pas aisément appréhender, d'un manque certain de connaissances et de pratique chez les enseignants relativement à ce savoir, de prescriptions curriculaires indigentes en la matière, ainsi que des contraintes généralement perçues pas les enseignants comme pesant sur leurs pratiques, peu de place est laissée à l'épistémologie dans les cours de sciences physiques et la composante privée a ainsi peu de chance d'entretenir des liens significatifs avec les pratiques, comme nous avons pu le constater au niveau des professeurs stagiaires en IUFM (Pélissier & Venturini, 2005). Pour ces raisons, même si des entretiens nous permettaient d'accéder à des éléments de la composante privée du rapport au savoir, celle-ci nous intéresse peu en raison de son éventuel manque de lien avec la pratique.

Accéder à la composante publique du rapport de l'enseignant aux objets de savoirs de l'épistémologie nécessite de passer dans ce cadre théorique par l'étude des « *praxéologies* » qui constituent un concept pour appréhender les fondements théoriques des pratiques. Cette formalisation de Chevallard (1997, 1999), selon qui la didactique est la « science de la diffusion *par l'étude* des praxéologies », permet de questionner à la fois ce qui est mis à l'étude par le professeur et comment, dans le cadre d'interactions concrètes avec les élèves,

le professeur met en œuvre cette étude.

5 L'analyse des pratiques d'enseignement via l'étude des praxéologies

L'activité du professeur, dont le rôle consiste à accompagner l'étude des élèves, peut être analysée à partir de ses gestes professionnels, définis comme l'ensemble des moyens généralement employés par le professeur pour organiser et faciliter l'étude d'un sujet en position d'élève (Chevallard (1999), Venturini et al. (2007)). Ces gestes sont de deux types (Chevallard, 1997, 1999) :

- des gestes de « *conception et d'organisation des dispositifs d'étude* » ; ils concernent la détermination des tâches d'apprentissage en lien avec les organisations disciplinaires à étudier ;
- des gestes « *d'aide à l'étude* », dans lesquelles l'enseignant met en place des techniques didactiques déterminées en vue de conduire la reconstruction (ou transposition) dans la classe des organisations disciplinaires.

Selon Chevallard, ces gestes dépendent d'organisations complexes, nommées praxéologies. Une « praxéologie » (ou « organisation praxéologique ») désigne une organisation bifide, composée d'un bloc pratico-technique, reliant une technique à une tâche, et d'un bloc technologico-théorique, rattachant une théorie à une technologie. L'articulation tâche-technique correspond à la « praxis » ou au savoir-faire alors que le bloc technologico-théorique renvoie au «logos» ou savoir[22]. Il existe des «praxéologies disciplinaires » (la discipline est l'épistémologie dans notre étude), qui renvoient à la réalité disciplinaire pouvant se construire dans une classe, et des « praxéologies didactiques », qui concernent

[22] Notre emprunt au cadre théorique de la TAD est porté par l'analogie entre le système que forment la praxis et le logos dans le concept de praxéologie et le lien dual entre conceptions et pratiques dont il est question dans les articles anglo-saxons.

les manières de guider l'étude des contenus de cette discipline (Chevallard, 1999). La spécificité des praxéologies didactiques est liée à la notion d' « étude », c'est-à-dire à l'idée de faire quelque chose afin d'apprendre quelque chose (« savoir ») ou d'apprendre à faire quelque chose (« savoir-faire ») (Chevallard, 1999). Appréhender l'activité du professeur dans la relation avec la composante publique de son rapport aux objets de savoir enseignés suppose alors d'étudier ces deux types de praxéologies et leur solidarité constitutive.

5.1 Les praxéologies disciplinaires

5.1.1 La praxis (tâche-technique)

Chevallard (1997) postule que « *toute pratique se laisse analyser, de différents points de vue et de différentes façons, en un système de tâches, c'est-à-dire d'activités relativement bien circonscrites, qui se découpent dans le flux de la pratique* » (p.3). Les tâches désignent des « *artéfacts* », des « *œuvres* », des « *construits institutionnels* ». Elles concernent des activités qui, pour une personne donnée, peuvent paraître routinières, c'est-à-dire comme allant de soi, ou bien problématiques, c'est-à-dire comportant des difficultés susceptibles d'empêcher son accomplissement.

C'est le cas par exemple de la modélisation d'un objet d'étude en physique, qui nécessite entre autres de préciser le cadre théorique dans lequel on envisage cette modélisation et de sélectionner en lien avec ce cadre des traits caractéristiques de l'objet d'étude ; ou bien encore celui de l'expérimentation qui nécessite impérativement un dimensionnement préalable du dispositif expérimental de manière que les phénomènes que l'on cherche à produire non seulement se réalisent mais aussi soient détectables par les appareils de mesures dont l'expérimentateur dispose.

Ce qui permet la réalisation de cette tâche, c'est la maîtrise d'une « technique », désignant une « manière de faire ». L'enseignement de la physique au lycée comme cadre institutionnel impose un certain nombre de techniques et de tâches. Le fait que les tâches

soient rendues ordinaires en fait des routines. C'est ce phénomène de naturalisation de la praxis qui, impliquant la « *mise en transparence* » et l'oubli des tâches et des techniques, rend parfois opaque à l'acteur d'une pratique sociale donnée ou à un observateur trop familier de cette pratique, les mécanismes à l'origine de leur acquisition. Ce phénomène est en quelque sorte lié à la transposition, d'une institution à une autre, de ces tâches et techniques. En effet, il existe en général une seule technique, ou du moins un petit nombre de techniques reconnues au sein d'une institution, à l'exclusion de l'ensemble des autres techniques alternatives possibles pour accomplir une tâche donnée ; c'est cette exclusion qui engendre chez les acteurs d'une institution une illusion de naturalité de ces techniques institutionnelles (Chevallard, 1999a). Ce phénomène de naturalisation peut en partie expliquer certaines difficultés d'appropriation de ces techniques pour des individus qui les rencontrent pour la première fois dans une institution donnée (comme les professeurs stagiaires ou les élèves).

Notons aussi que la portée d'une technique est variable, selon qu'elle s'applique à toute ou partie de la tâche, et qu'une technique n'est pas nécessairement de nature «*algorithmique*» (Chevallard, 1999). Finalement, il existe un système plus ou moins intégré de types de tâches et de techniques relatives à la position occupée par un individu dans l'institution, qui s'expriment par un « *système de gestes* »[23]qui constitue l'ensemble des observables de la technique relativement à une tâche. Ce système, nommé « bloc practico-technique » peut être assimilé à ce que l'on nomme couramment « un savoir-faire » (op. cit).

5.1.2 Le logos (technologie-théorie)

La technologie désigne un « discours rationnel » - le logos- sur la pratique, dont l'objet est de justifier « rationnellement » la technique, en nous assurant qu'elle permet bien d'accomplir

[23] Un geste désigne l'action d'exécuter, de faire et est entendu au sens large.

les types de tâches concernés. Il existe toujours des éléments technologiques associés à une technique, même à l'état embryonnaire, et en bon nombre de cas, certains éléments technologiques sont intégrés dans la technique. Une technologie remplit en fait deux fonctions, une fonction de justification de la technique, et une fonction explicative, qui consiste à rendre intelligible et à éclairer la technique. Une troisième fonction, qui correspond à un emploi plus actuel du terme de technologie, concerne la production de techniques : il existe ainsi des technologies potentielles en attente de techniques. Il arrive parfois que les acteurs concernés ne comprennent plus les raisons d'être de la tâche, celles qu'énonçait la technologie, et que cette tâche, ayant perdu sa signification culturelle, finisse même par ne plus être fonctionnelle, devenant alors ineffective. En d'autres termes, la faiblesse ou l'absence d'une technologie peut ainsi expliquer l'obsolescence des tâches et techniques concernées, qui prélude à leur disparition complète.

Le discours technologique contient des assertions plus ou moins explicites, nécessitant à leur tour un niveau supérieur de justification- explication- production, celui de la théorie » (Chevallard, 1999a). La théorie, en raison de la grande générativité de ses énoncés – rendue nécessaire par sa capacité à justifier, expliquer, produire – a un caractère abstrait. Cette théorie, sorte de technologie de la technologie, apparaît parfois à l'état de traces, dans un état évanouissant, en particulier parce qu'elle est traitée par simple renvoi à une autre institution[24]. Elle peut fluctuer, et de fait fluctue historiquement. Finalement, il existe un système « technologico-théorique », identifié comme un savoir. Par métonymie, on désigne couramment comme étant un «savoir» la praxéologie toute entière (c'est-à-dire les deux systèmes), ce qui tend à minorer le savoir-faire, notamment dans la production et la diffusion des praxéologies.

[24] Chevallard(1999) donne l'exemple du professeur de physique, qui annonce : « On démontre en mathématiques… »

Pour compléter cette définition du concept de praxéologie, il importe de préciser qu'il existe des praxéologies ponctuelles, locales et régionales, selon qu'elles concernent respectivement un même type de tâches, une même technologie ou une même théorie (Chevallard, 1996). Généralement, en une institution donnée, une théorie répond de plusieurs technologies, dont chacune justifie et rend à son tour intelligibles plusieurs techniques, correspondant à autant de types de tâches (Chevallard, 1999a). Les organisations ponctuelles (relativement rares) vont ainsi d'abord s'agréger en organisations locales (centrées sur une technologie déterminée), ensuite en organisations régionales (formées autour d'une théorie). Au-delà, le complexe praxéologique obtenu, dans une institution donnée, par l'agrégation de plusieurs organisations régionales concerne plusieurs théories. Il est nommé « organisation globale ». Et si généralement le type de tâche précède génétiquement le bloc théorico-technologique, il n'en reste pas moins que structuralement le savoir permet d'engendrer la technique. C'est ce qui expliquerait que le savoir-faire soit présenté dans le texte du savoir, comme une simple application du savoir. Plus généralement, le terme de praxéologie renvoie à un fait anthropologique banal mais fondamental : « *il n'est pas de praxis sans logos ; il n'est pas de logos à jamais innocent d'implications « praxiques »* » (Chevallard, 2002).

La notion de praxéologie disciplinaire relative au savoir épistémologique renvoie à la manière dont l'enseignant associe ce qui se passe au cours de la séance de physique à des concepts épistémologiques : modéliser est une tâche relative au savoir de l'épistémologie de la physique. Pour réaliser cette tâche, il faut appréhender un objet d'étude, le représenter à l'aide d'éléments de modélisation (forces par exemple) : tout cela constitue des composantes d'une technique associée au fonctionnement de la physique.

5.2 Les praxéologies didactiques

Pour Chevallard (2002), l'existence et le développement d'une technologie savante « *idoine* » (ou technologie disciplinaire) ne peut suffire à la construction d'une technologie adéquate aux besoins de l'enseignement secondaire (ou technologie didactique). En d'autres

termes, pour apporter une réponse à la question « comment accomplir une tâche permettant de mettre en place (ou d'enseigner), dans une classe de collège ou de lycée, une certaine organisation de savoir mathématique ? », il est nécessaire de construire une praxéologie didactique (op. cit.). Observer, décrire et analyser, évaluer, développer certains objets relatifs aux pratiques enseignantes[25] revient donc à étudier deux types de praxéologies (ou d'objets) : une praxéologie disciplinaire (épistémologique), qui désigne « *la réalité des objets* (épistémologiques) *qui peut se construire dans une classe* » ; une praxéologie didactique, qui désigne « *la manière dont peut se construire (la) réalité* de ces objets de savoir », c'est-à-dire la manière dont peut s'y réaliser « *l'étude d'un thème donné* » (Chevallard, 1999).

La spécificité des praxéologies didactiques est liée à la notion d' « étude », c'est-à-dire à l'idée de faire quelque chose afin d'apprendre quelque chose (« savoir ») ou d'apprendre à faire quelque chose (« savoir-faire») (Chevallard, 1999a). L'idée du didactique[26] concerne diverses institutions dans la mesure où le phénomène d'instruction est spécifique aux sociétés humaines. Quel que soit le cadre institutionnel dans lequel se trouve du didactique, des contraintes s'imposent et permettent, voire imposent certains types de praxéologies didactiques alors qu'elles en interdisent d'autres. Seules les praxéologies didactiques qui se conforment à ces contraintes sont écologiquement viables dans l'institution concernée, parce que « *chaque institution, chaque institution didactique notamment, définit ainsi en acte, au moins négativement, sa propre notion d'étude* » (Chevallard, 1999). Cet auteur considère qu' « *il y a étude lorsqu'il y a soin, application, attention dans l'abord de quelque réalité problématique- la réalité « étudiée ». Les praxéologie didactiques désignent alors « l'ensemble des types de tâches, des techniques, des technologies, etc., appelés par l'étude*

[25] Au sens de Chevallard, ce sont des « genres de tâches ».

[26] Chevallard (1999) rappelle que cet adjectif est un emprunt au grec didaktikos, qui signifie « propre à instruire ».

concrète en une institution concrète » (Chevallard, 1999). Elles sont des réponses (au sens fort) aux questions du type « *comment étudier telle question* » ou « *comment étudier une œuvre* » (ibid.). C'est en ce sens qu'elles sont rattachées à l'étude d'une œuvre, existant ailleurs dans la société, dont elles permettent la reconstruction, la « transposition » dans l'institution servant d'habitat à l'étude. Le passage de l'étude d'une question à l'étude d'une réponse – d'une œuvre – implique des modifications dans la notion même d'étude. Les œuvres prennent la forme d'organisations ponctuelles (liées à un seul type de tâches regardé comme générateur de l'œuvre étudiée) puis d'organisations locales (en relation avec une technologie) qui sont finalement intégrées au sein d'une organisation régionale (commandée par une même théorie). Les types de tâches sont alors considérés comme de simples applications qui occultent le rapport entre question et réponse.

Par rapport aux travaux anglo-saxons déjà mentionnés, l'utilisation du cadre théorique de la théorie anthropologique du didactique présente pour notre étude des avantages à la fois sur le plan interprétatif dans la prise en compte de la dimension institutionnelle constitutive de l'action didactique, également sur celui de la précision dans la définition des concepts et enfin sur le plan méthodologique.

Partie 2 : Conception de l'étude

Chapitre 5 : Problématique, hypothèses et questions de recherche

Chapitre 6 : Points de repère en épistémologie contemporaine de la physique (approche internaliste)

Chapitre 7 : Méthodologie

Chapitre 5 : Problématique, hypothèses et questions de recherche

Nous proposons dans ce qui suit de mettre en relation les différents travaux présentés dans les chapitres précédents en utilisant les apports de l'approche anthropologique du didactique pour construire des hypothèses permettant de penser a priori les phénomènes liés à l'enseignement des savoirs de l'épistémologie dans le contexte de l'enseignement de la physique en lycée français. En prenant appui sur cette hypothèse, et dans la perspective de mieux comprendre les facteurs qui déterminent les types de savoirs de l'épistémologie enseignés en classe et les manières de les enseigner, nous présenterons les raisons qui nous conduisent à examiner ce que disent et font en classe des enseignants de physique en lycée choisis sur la base de leur intention d'enseigner des savoirs particuliers de l'épistémologie.

Notre recherche se situe dans un contexte de travaux conduits à l'étranger sur les influences mutuelles entre les connaissances et les pratiques des enseignants et qui semblent converger avec ceux qui, en France, ont contribué à une meilleure compréhension des pratiques des enseignants particulièrement sous l'angle des types de connaissances qu'ils mobilisent quand ils enseignent. Cette perspective est également cohérente avec un ensemble de travaux conduits dans les pays francophones sur les pratiques enseignantes, bien au-delà des recherches sur les questions de l'épistémologie dans l'enseignement des sciences, et centrées sur les questions de la dualité entre compréhension théorique et action.

Comment cette recherche peut-elle contribuer à l'ensemble des travaux évoqués jusque là,

participant à améliorer la compréhension de l'enseignement de l'épistémologie, dans le contexte spécifique de l'enseignement de la physique en France ? Quelle contribution relative à la question de la transmission des savoirs de nature épistémologique peut-on apporter, en adoptant le point de vue dialogique entre les pratiques et les conceptions, entre la pensée et l'action, dans un contexte où il n'y a pas de savoirs précis de l'épistémologie à enseigner ?

1 L'enseignement des sciences physiques contribue au moins pour partie aux conceptions des élèves sur la nature de la science

Selon Désautels et Larochelle (1989), les conceptions des élèves sur la nature de la science ne reflètent pas ce que l'épistémologie contemporaine permet de dire aujourd'hui sur la nature des connaissances scientifiques, leur élaboration et leur évolution. En l'absence d'étude significative réalisée en France depuis, et dans la mesure où les études antérieures ont montré une certaine stabilité des conceptions des élèves sur la NOS, l'extrapolation de ces résultats nous amène à penser que la situation des élèves des lycées français au moment de la présente recherche est sensiblement identique[27]. Toutefois, les conceptions des élèves sur la NOS ne constituent pas l'objet de cette recherche pour l'instant, et c'est dans le cadre de son développement futur sur l'apprentissage de la NOS que nous serons sans doute amenés à questionner ces résultats. Dans la perspective d'identifier des raisons pouvant expliquer de telles conceptions chez les élèves, il nous semble légitime de questionner les conditions d'apprentissage de la physique, la classe de physique constituant un contexte privilégié pour élaborer de telles conceptions.

[27] L'étude conduite par Désautels et Larochelle (1989) porte sur l'enseignement des sciences en général, et examine les points vues d'élèves qui suivent des cours de sciences dans lesquels il n'est pas prévu a priori d'enseignement de savoirs de l'épistémologie, de manière analogue à ce qui se passe habituellement en France.

2 L'enseignement des sciences physiques en France dans le secondaire doit permettre aux élèves de comprendre ce qu'est la science

Ainsi que nous l'avons développé précédemment, les programmes d'enseignement de la physique dans le secondaire en France invitent à traiter des questions qui touchent à l'épistémologie de la discipline en particulier, et semblent depuis longtemps leur attacher une certaine importance. On compte parmi les objectifs généraux -tels qu'ils apparaissent dans les programmes de l'enseignement de la physique dans le secondaire- celui de faire comprendre aux élèves la nature des connaissances scientifiques et leurs modes d'élaboration et d'évolution. De plus, ils portent sur ce qui caractérise des contenus scientifiques et sont formulés indépendamment de la spécificité de ces contenus, c'est-à-dire concernent des aspects génériques de ces savoirs qui relèvent ainsi du champ de l'épistémologie.

Par exemple, les objectifs généraux des programmes de physique de la classe de seconde à la classe terminale affichent une « *grille de suivi des compétences mises en jeu lors des séances de travaux pratiques* » ; celle-ci mentionne explicitement parmi les « *compétences liées à l'expérimentation* » quelques items identifiables à des savoir et savoir-faire de l'épistémologie que sont :

- *Formuler une hypothèse sur un événement susceptible de se produire ou de s'être produit, et un paramètre pouvant jouer un rôle dans un phénomène.*
- *Proposer une expérience susceptible de valider ou d'infirmer une hypothèse et/ou répondant à un objectif précis.*
- *Analyser des résultats expérimentaux, les confronter à des résultats théoriques.*
- *Déterminer le domaine de validité d'un modèle.*

2.1 Des savoirs de référence et des savoirs à enseigner peu précis

Toutefois, les concepts épistémologiques évoqués ne sont pas considérés comme des objets

de savoir à enseigner *stricto sensu*. En effet, contrairement à ces derniers, les recommandations ne sont pas suivies entre autres d'indications de mise en œuvre dans les classes, du temps à y accorder, de définition et de hiérarchisation de ces savoirs, du type de progression à envisager, de l'évaluation que l'on peut faire du degré d'acquisition de ces savoirs par les élèves, etc. La place réelle de l'épistémologie dans le détail des programmes tient davantage de l'évocation, sans qu'elle donne jamais lieu à un enseignement systématique.

Il reste que, comme nous l'avons déjà précisé dans l'analyse des programmes de physique de collège ou de lycée, ces instructions ne précisent pas ce que les enseignants doivent entendre notamment par hypothèse ou par modèle, les relations que ces notions entretiennent avec la théorie, et le rôle essentiel de cette dernière dans le choix des expériences à mettre en œuvre pour confronter les hypothèses aux données empiriques. En somme, les programmes ne précisent ni l'ensemble des concepts épistémologiques à enseigner, ni ce que sont les savoirs ou les pratiques pris comme référence pour transmettre ces savoirs.

La situation est, sous certains aspects, proche de celle qualifiée par Bronner (2003) de « *vide didactique* » dans laquelle il est demandé que l'enseignant transmette aux élèves des connaissances sur le fonctionnement de la science et la nature des savoirs scientifiques, sans que ces derniers soient précisément définis ou renvoient à des références théoriques particulières.

Malgré tout, de telles intentions laissent penser que la connaissance par les élèves de la nature des savoirs et du fonctionnement de la physique est considérée comme une partie constitutive des visées de l'enseignement des sciences physiques, autrement dit comme une résultante de l'apprentissage de cette discipline. Dans le même temps, on peut penser qu'elles sont considérées comme contributives à l'apprentissage de la physique dans la mesure où elles sont reconnaissables comme telles par les élèves (Coince et al., 2008) qui peuvent caractériser la nature des savoirs scientifiques appris et les relations qu'ils entretiennent les uns avec les autres (Lederman, 2005). Comment les enseignants peuvent-

ils se situer face à ce qui peut être compris à la fois comme une double orientation, mais aussi comme une absence d'orientation ?

2.2 Deux modalités possibles de transmission de l'épistémologie en classe

2.2.1 L'épistémologie pourrait être implicite à l'enseignement de la physique.

On peut penser que les concepteurs et rédacteurs des programmes considèrent que l'enseignement de la physique à partir de la formulation proposée des contenus va conduire implicitement les enseignants à présenter et à faire pratiquer aux élèves des activités en physique telles que les élèves comprennent ce qui caractérise les savoirs scientifiques et comment ils sont élaborés. L'apprentissage de l'épistémologie est considéré alors comme lié implicitement à celui de la physique, autrement dit comme *allant de soi* au cours l'apprentissage de la physique. En cela, les recherches nord-américaines –décrites précédemment au chapitre 3- nous apportent des éléments sur cette situation : des connaissances sur la nature de la science se transmettent à travers l'enseignement de la physique à l'insu de l'enseignant, à travers ce qui se dit et se fait en classe à propos des savoirs disciplinaires. Les recherches concluent au rôle déterminant à la fois de la manière dont les enseignants expliquent les sciences à leurs élèves, qui constitue un contexte à travers lequel ils construisent leurs conceptions sur la NOS, et des types d'activités sur lesquelles les élèves travaillent. Il en ressort également que les formes de savoirs épistémologiques enseignés et appris sont très fortement liés à des contraintes en lien avec les savoirs de la physique, l'apprentissage des élèves, les contraintes perçues par les enseignants comme pesant sur l'enseignement, etc. Cela dit, les résultats récurrents sur les conceptions des élèves sur la NOS semblent nous indiquer que l'enseignement des sciences ne contribue pas à rapprocher ces conceptions des savoirs épistémologiques de référence, et donc que les propos que les enseignants tiennent en classe pour parler de physique et les activités d'apprentissage ne conduisent pas nécessairement les élèves à apprendre ce qui est attendu en la matière. Nous n'aborderons pas cet aspect de la question déjà envisagé dans

d'autres recherches.

2.2.2 L'épistémologie pourrait faire l'objet d'une intention didactique

D'un autre côté, on peut penser aussi que dans le contexte français, le choix et les modalités d'enseignement des notions épistémologiques sont laissés à l'initiative des enseignants qui fixeront les contenus et les modalités d'enseignement de ces contenus. Mais les enseignants de sciences physiques dans le secondaire sont très peu ou pas formés à ces questions au cours de leurs formation initiale[28]: non seulement les épreuves de concours de recrutement des enseignants de sciences physiques (CAPES, Agrégation) ne contiennent pas d'épreuve spécifique d'épistémologie, mais celle-ci n'apparaît nullement à l'intérieur des épreuves de physique et de chimie. De plus, le parcours d'étude de la grande majorité des enseignants de physique ne contient pas de période de formation à la recherche leur permettant d'être en position de « pratiquer » la physique, donc d'acquérir éventuellement un tant soit peu de culture, même de manière tacite (Ryder & Leach, 1998), relative à l'activité scientifique. Pour ces raisons, il est peu probable qu'un enseignement spécifique de l'épistémologie prenne une place explicite particulière dans les progressions de physique dans le secondaire à l'initiative des enseignants. De plus, selon les études mentionnées dans le chapitre 3, même ceux parmi des enseignants américains qui possèdent des connaissances adéquates sur les questions de l'épistémologie font passer l'enseignement de tels savoirs au second plan alors même qu'ils sont précisés dans les référentiels fédéraux, en raison des contraintes qu'ils perçoivent comme pesant sur l'enseignement (gestion de classe, difficultés des élèves, engagement dans les apprentissages, motivation, etc.) (Lederman, 1999). Dans le contexte français, on ne peut guère s'attendre à mieux.

[28] le rapport Lecourt (2000) a fait un état des lieux et des propositions en la matière ; une partie d'entre elles ont commencé à voir le jour : les filières scientifiques à l'université proposent dès les premières années de licence des enseignements d'épistémologie.

2.2.3 L'intention didactique relative à l'épistémologie pourrait être instanciée dans les savoirs de la physique à enseigner

Peut-être alors pouvons-nous envisager qu'en raison de l'importance première à accorder à l'enseignement des savoirs scientifiques, des enseignants prennent l'initiative, quelle que soient les raisons qui les motivent, d'enseigner des savoirs de l'épistémologie, mais de manière contextualisée à des savoirs de la physique ou de la chimie[29]. Dans ces conditions, l'appropriation des savoirs spécifiques que cela exige pour en faire des savoirs à enseigner va conduire à des modifications dans ce qui se dit et se fait en classe, pour un savoir enseigné éventuellement identifiable comme l'étude de Ryder & Leach (2008) le montre. Mais dans ce cas, le dispositif de recherche a défini les objectifs relatifs aux savoirs épistémologiques et a contraint les enseignants à les adopter et à se les approprier. Notre approche se veut différente et tend à privilégier la compréhension des pratiques usuelles des enseignants : nous souhaitons que le dispositif de recherche n'impose rien sur les pratiques. Il nous faut donc trouver des enseignants pour qui l'enseignement ou la transmission de savoirs épistémologiques de leur choix constitue pour eux, à un moment donné, au mieux un objectif au même titre que tous ceux relatifs aux savoirs et savoir-faire détaillés dans les programmes, au moins une intention. Il s'agit pour eux d'enseigner des savoirs à définir et à mettre en lien avec les savoirs de la physique du programme. Les enseignants qui répondent à ce critère, s'ils existent, sont de ce point de vue singuliers. Il ne s'agit donc pas pour nous d'analyser les effets qu'auraient l'introduction d'objectifs de nature épistémologique sur des pratiques ordinaires d'enseignants, mais de nous intéresser à des *phénomènes didactiques se déroulant lors de séances d'enseignement ordinaires chez des enseignants atypiques*.

De plus, l'analyse des pratiques « ordinaires » d'enseignement des sciences présente

[29] Nous nous limitons dans notre étude aux savoirs de la physique.

l'avantage de mieux comprendre la nature épistémologique des savoirs scientifiques et du fonctionnement de la science dans la classe : par l'analyse des interactions relevées lors de l'observation d'une séquence d'enseignement « ordinaire » en classe de biologie mettant en scène une résolution "expérimentale" de problème, Bomchil et Darley (1998) ont montré que, « *loin de l'inductivisme "naïf" souvent décrit, l'enseignement des sciences expérimentales peut être réinterprété comme tenant d'une logique dogmatique* ».

Cette contextualisation de l'épistémologie aux savoirs de la physique « classique » du programme nous conduit à considérer qu'il y aura davantage de chances de rencontrer lors d'une séance de physique en France un savoir enseigné qui porte sur les lois ou les modèles par exemple, que sur des savoirs tels que celui-là qui figure dans le référentiel NSES (1996) relatifs aux savoirs de la NOS aux USA :

> *« Bien que les scientifiques puissent être en désaccord sur les explications des phénomènes, à propos de l'interprétation des données, ou à propos de la valeur des différentes théories en concurrence, ils sont d'accord sur le fait que le questionnement, la réponse à la critique, et la communication ouverte sont partie intégrante de l'élaboration de la science. Comme la connaissance scientifique évolue, les plus grands différends sont finalement résolus à travers de telles interactions entre les scientifiques ».*

De plus, les savoirs à enseigner en classe de physique sont présentés dans les programmes d'enseignement comme des éléments théoriques décontextualisés et anhistoriques. Pour ces raisons, nous nous attendons à ce que la nature et le statut épistémologique des savoirs enseignés en classe relèvent principalement de l'approche internaliste. Comme le précisent Joshua & Dupin (2003, p. 60) : « *la didactique emprunte l'essentiel de ses références à la problématique internaliste* ». La raison en est que « *les grandes déterminations externes sur le développement des sciences sont d'une faible portée didactique* » dans la mesure où « *l'environnement historique peut être considéré comme parfaitement stable à l'échelle de temps que dure un apprentissage, scolaire par exemple* » (ibid.).

3 Hypothèses et question de recherche

3.1 Les savoirs de l'épistémologie enseignés constituent la composante publique du rapport de l'enseignant à ces objets

Compte tenu du contexte de l'enseignement des sciences physiques en France dans le secondaire, la transmission en classe de savoirs particuliers relatifs à l'épistémologie nécessite des enseignants « *atypiques* », qui ont choisi et défini des savoirs épistémologiques particuliers et les ont mis en œuvre au cours de séances spécifiques ou d'incises dans des séances spécifiques, mais plus probablement à l'occasion de l'enseignement de contenus relatifs à des savoirs de la physique recensés dans les programmes. Nous nous attendons le cas échéant à observer la présence explicite et un peu moins contrainte de savoirs de l'épistémologie en classe, même si malgré tout subsistent des contraintes en lien avec l'enseignement de savoirs de la physique. Ceci situe l'étude des pratiques des enseignants dans une logique transpositive : notre étude se centre sur la dernière étape du processus de transposition didactique, c'est-à-dire celle qui va du "savoir à enseigner" au savoir effectivement enseigné, avec la particularité que le « savoir à enseigner » va faire l'objet de la part de l'enseignant d'une complète élaboration du « texte du savoir ». Dans la mesure où aucune exigence n'est clairement formulée à propos des savoirs épistémologiques en lien avec ceux de la physique, cela peut signifier que l'institution ne connaît pas bien cet objet, et le rapport institutionnel à cet objet pour un individu en position d'enseignant n'est pas bien défini. Par conséquent l'enseignant peut à peu près montrer en classe ce qu'il veut via sa composante publique dans l'institution. Nous faisons l'hypothèse que, dans ces conditions, le savoir enseigné se fait sur la base de ce que seul l'enseignant en connaît, et s'identifie à la composante publique de son rapport aux objets de savoir de l'épistémologie qu'il a choisi d'enseigner, voire à la totalité de son rapport personnel si l'on considère que le rapport institutionnel est inexistant. Quand il est question d'enseigner de l'épistémologie contextualisée à la physique, la nécessaire élaboration du texte du savoir de la physique *modulé* par les savoirs de l'épistémologie à enseigner met en relief dans l'action le rapport

public sous-jacent de l'enseignant aux objets de savoirs de l'épistémologie.

3.2 Les praxéologies disciplinaires de l'épistémologie en lien avec les praxéologies didactiques de la physique.

Pour comprendre quels sont les savoirs épistémologiques mis en scène, il faut aller regarder les pratiques de transmission de ces savoirs et les analyser du point de vue de ces savoirs et de leur progression dans la séance. On peut rendre compte de ces pratiques en considérant leur organisation praxéologique, tant d'un point de vue disciplinaire (ici la discipline est l'épistémologie) que du point de vue didactique. Ce savoir-faire et ce savoir correspondent à la partie rendue publique -par l'enseignant dans l'institution correspondante- de son rapport aux objets de savoirs épistémologiques concernés (que nous noterons « RPE » par la suite).

En raison de la définition large du terme de savoir, et compte tenu a priori du cadre restreint de l'épistémologie à une approche internaliste, ces objets sont a priori de deux types : les savoirs relatifs à la nature des concepts génériques des savoirs de la physique (modèle, loi, théorie, hypothèse, etc…) mais aussi ceux qui caractérisent les processus d'élaboration des savoirs de la physique (modéliser, expérimenter, observer, inférer, déduire, induire, interpréter, etc.). Cela dit, il est peu probable que l'épistémologie soit étudiée en tant que telle en cours de physique, mais davantage à l'occasion des savoirs de la physique, précisant la nature de ces savoirs et les relations qu'ils entretiennent les uns avec les autres dans les processus d'élaboration des connaissances.

Cette hypothèse de « contextualisation » en classe des savoirs de l'épistémologie aux savoirs de la physique nous oriente sur l'idée que la praxéologie didactique relative à la physique entretient un lien étroit avec la praxéologie disciplinaire de l'épistémologie : en s'appuyant sur la terminologie de Chevallard, « *la manière dont peut se construire (la) réalité des objets* (de savoir de la physique) est constitutive de « *la réalité des objets* (épistémologiques) *qui peut se construire dans une classe* ». Ainsi, le savoir à enseigner est ici un savoir de nature épistémologique, et son enseignement peut prendre la forme d'une action didactique sur les

savoirs de la physique. Par exemple, la manière de mettre en œuvre une expérience en classe, décrivant une praxéologie didactique relative à un savoir de la mécanique nous donne des éléments à mettre en relation avec les praxéologies relatives au savoir de l'expérimentation dans le cas où l'enseignant envisage d'enseigner l'objet de savoir « expérimenter » ; ou bien encore la manière de décrire le comportement d'un système sous l'angle de la mécanique ou de la thermodynamique permet d'éclairer la praxéologie relative à la modélisation alors que l'enseignant a pour intention de transmettre ce qu'est un modèle et en quoi consiste la modélisation.

Autrement dit, les tâches et techniques qui constituent la manière de construire la réalité des objets de la physique dans la classe sont au moins pour partie des indicateurs des savoirs de l'épistémologie transmis en classe. Mais ce rapprochement entre les praxéologies concerne essentiellement la composante « logos » du côté des praxéologies disciplinaires de l'épistémologie, car encore une fois, il y a peu de chance de rencontrer en classe des tâches spécifiques à l'épistémologie. En définitive, la composante « logos » de la praxéologie épistémologique est accessible dans le discours de l'enseignant et les interactions en classe relativement à l'épistémologie (ce qui se dit à propos du concept de modèle par exemple et qui légitime d'utiliser le modèle de telle ou telle manière en classe). La question serait donc de savoir si les praxéologies didactiques de la physique, marquées par les techniques reconnues dans l'institution, entretiennent ainsi un lien avec la composante « logos » des praxéologies disciplinaires de l'épistémologie. Cette approche va nous permettre de voir si le RPE de l'enseignant est marqué par la pratique, c'est-à-dire marqué par la compréhension qu'il a pu construire sur l'épistémologie à partir de sa pratique d'enseignement de la physique. Le cas échéant, il y a dans l'enseignement de la physique des choses que l'enseignant considère comme tenant de ce qui caractérise la nature et les processus

d'élaboration des savoirs scientifiques. On serait dans ce cas dans une confusion[30] des institutions « enseignement de la physique à l'école » et « recherche en physique». Le type d'enseignement que l'on s'attend à observer ne relève pas de la transposition en classe des savoirs de l'épistémologie et des activités scientifiques, dans la mesure où les savoirs épistémologiques sont ceux qui sont construits dans l'étude de la physique en classe.

En revanche, il est possible que le RPE de l'enseignant relève d'une transposition des savoirs de l'épistémologie. Comment alors fonctionne cette transposition : d'où proviennent les savoirs ou les pratiques de référence qui sous-tendent les praxéologies ? Inspirés des études de Water-Adams (2006) et de Ryder & Leach (2008), nous sommes conduits à penser que de tels enseignants évoluent en relation avec des dispositifs d'accompagnement (sous la forme de groupes de formation et/ou de recherche). La recherche qu'a conduit notamment Water-Adams (2006) est particulière dans le sens où il s'agit d'une recherche-formation dans laquelle les acteurs sont impliqués durant près d'un an dans l'enseignement de l'épistémologie relativement à des objectifs précis au sein de groupes de travail collectifs sur l'élaboration de ces enseignements. L'originalité de cette approche se situe dans la prise en compte de la dynamique de l'évolution du travail des enseignants : elle nécessite de collecter beaucoup d'informations et de suivre l'évolution des connaissances et des pratiques des enseignants. Elle vise à comprendre comment les enseignants construisent leurs connaissances sur la nature de la science en relation avec leurs conceptions de l'enseignement et de l'apprentissage à partir de la nécessité de construire des progressions et des séances d'enseignement portant sur des savoirs de l'épistémologie, contextualisés à des savoirs scientifiques. C'est en travaillant individuellement et collectivement sur la manière d'enseigner des contenus relatifs à la nature de la science que les enseignants construisent au fur et à mesure leurs connaissances à ce propos en les mettant en cohérence

[30] au sens propre de « fusion avec »

avec leurs conceptions sur l'apprentissage et sur l'enseignement des sciences.

Par extrapolation au cas de la France, nous pensons que l'intention d'enseigner des savoirs de l'épistémologie et sa réalisation ne tient pas seulement d'une démarche individuelle mais est facilitée par l'accompagnement présent ou passé à un groupe de formation dans lequel est construite une culture professionnelle nécessaire à un tel objectif. Nous faisons l'hypothèse que chez de tels sujets, cet accompagnement doit peser sur leurs pratiques en faisant aux savoirs de l'épistémologie une place inhabituelle dans les objectifs d'enseignement.

Ainsi peut-on faire l'hypothèse de deux types de praxéologies en lien avec les références servant de base à la construction du (RPE) :

- Des praxéologies propres à des enseignants engagés dans une réflexion personnelle sur leurs pratiques en relation avec les savoirs de la NOS, mais pour qui cependant ces derniers ne constituent pas une priorité d'enseignement.
- Des praxéologies qui sont marquées par les liens entre les enseignants et une institution autre que celle de l'enseignement de la physique dans le secondaire, et qui permet de mettre en relation des savoirs de l'épistémologie et leur enseignement, en faisant de la NOS un des cœurs de cible de l'enseignement des sciences.

Finalement, les questions que nous nous posons pour cette recherche sont les suivantes :

Compte tenu des contraintes de contextualisation des savoirs de l'épistémologie à ceux de la physique, quelles sont les praxéologies épistémologiques des enseignants, quand ils ont l'intention d'enseigner de tels savoirs qu'ils ont eux-mêmes choisis, et que l'absence de rapport institutionnel leur permet de rendre public leur rapport personnel à ces objets de savoir ?

Quelles sont les références par rapport auxquelles s'est construite cette composante publique du rapport de l'enseignant aux objets de savoir épistémologiques ?

Chapitre 6 : Points de repères en épistémologie contemporaine de la physique

Pour comprendre quels sont les savoirs épistémologiques enseignés en classe via les praxéologies, nous avons besoin d'un cadre de référence sur l'épistémologie. Ce cadre est celui de l'épistémologie telle que nous l'avons définie au chapitre 1, destinée à caractériser ce qui relève de l'activité scientifique et non de l'enseignement et de l'apprentissage de la physique. Ce choix nous semble cependant approprié dans la mesure où les intentions didactiques des enseignants sont de transmettre à leurs élèves des connaissances sur ce qu'est « la physique » et non ce qui caractérise la physique enseignée et apprise à l'école.

Compte tenu du caractère très probablement internaliste du type d'épistémologie enseignée en classe de physique, il nous est nécessaire de disposer d'éléments nous permettant de repérer en classe ce qui relève des savoirs de l'épistémologie caractérisant la nature des savoirs de la physique enseignés (hypothèse, théorie, modèle, etc.) et l'activité de production de ces derniers (modélisation, expérimentation, observation, etc.).

1 La physique comme paradigme épistémologique des sciences empiriques

Comme le précise Ullmo (1969, p. 15), « *une étude sur la pensée scientifique au XIX^{ème} siècle et dans la première moitié du XX^{ème} siècle doit prendre pour centre de perspective la réflexion sur la physique* », car elle est la seule science à être « *suffisamment avancée et élaborée pour fournir un domaine d'élection à la pensée qui prend la science pour objet* ». Nombreux sont

les travaux d'épistémologie qui vont ainsi prendre pour objet l'activité de la physique et la nature des connaissances que ce champ produit pour élaborer une pensée de ce qui peut être considéré comme du domaine des sciences, et influencer ainsi d'autres domaines de connaissances émergents dans cette période, comme la biologie, la psychologie, la sociologie ou l'économie, dans leur recherche notamment de ce qui fait leur scientificité. Ces dernières vont contribuer en retour à enrichir cette pensée par la construction de nouveaux concepts qui leur sont spécifiques, en donnant lieu à des « *épistémologies régionales* » (Soler, 2000). En définitive, nous appuyer sur les travaux d'épistémologie en tant que domaine de pensée sur les sciences en général pour élaborer notre cadre théorique ne nous éloigne jamais vraiment du domaine de la physique, car « *c'est à l'école de la physique que la pensée humaine a fait son apprentissage* » (op. cit.).

L'épistémologie procède ainsi d'une démarche descriptive, s'appuyant sur « *l'ensemble des pratiques »* (op. cit.), qui, de fait, sont considérées comme des pratiques scientifiques. Nous allons préciser dans la partie suivante ce qui nous semble important de retenir dans ce qui relève de l'épistémologie et les raisons de ces choix, en ce qui concerne plus précisément celle de la physique dont l'enseignement constitue notre objet de recherche. Autrement dit, comment l'épistémologie de la physique « *fournit une caractérisation détaillée de son objet, de ses concepts et de ses méthodes propres ; analyse et discute ses hypothèses fondamentales ; évalue le degré de fiabilité de ses résultats* » (op. cit.).

Toutefois, l'épistémologie porte sur la science telle qu'elle est, ce qui suppose qu'un discours est scientifique car il est reconnu comme tel par une communauté de scientifiques : les discours scientifiques se distinguent d'autres types de discours rationnels par un certain nombre de caractéristiques qui s'imposent aux discours scientifiques, formant autant de contraintes de principe, et reconnues le cas échéant comme légitimes par la communauté des scientifiques. Cette définition rend compte d'une possibilité d'évolution de son contenu selon l'évolution du jugement de la communauté à une époque donnée sur l'existence de critères, à la fois explicites et implicites, qui permettent à la communauté de juger de la scientificité de tel ou tel discours. Il n'existe ainsi pas de liste unique des concepts de

l'épistémologie, ni de définition exhaustive et univoque associée aux termes utilisés en ce domaine. Cependant, la présentation que nous ferons par concepts épistémologiques marque un consensus général qui se fait jour à travers des débats mineurs (Ullmo, 1969). Par exemple, il est aujourd'hui très difficile de rejeter l'idée selon laquelle les investigations scientifiques sont chargées de théories qui les précèdent et leur donnent du sens, ou bien de défendre une conception empiriste ou déterministe de la nature de la science (Lederman, 1992). Ainsi, à un certain niveau de généralisation, quelques aspects importants de l'épistémologie ne prêtent pas à controverse. Le sens attribué à ces notions dans ce qui suit s'inscrit dans ce que l'on peut appeler une « approche contemporaine » de l'épistémologie.

Les ouvrages qui portent sur l'épistémologie, dont le propos croise aussi souvent ceux qui concernent la philosophie des sciences, sont assez nombreux et suffisamment instruits pour trouver matière à construire une partie du cadre théorique de cette étude. Notre objet n'est pas de retravailler les fondements épistémologiques des savoirs qui, à un moment ou à un autre font l'objet d'un enseignement en classe, comme les études transpositives s'y emploient habituellement. Nous n'avons pas non plus l'ambition de réaliser une synthèse exhaustive de ce que l'épistémologie nous apprend du fonctionnement des sciences en général et de la physique en particulier. Nous souhaitons préciser quelques points de repères en matière d'épistémologie de la physique, synthétisés à partir de différentes références en la matière pour fonder la construction de la méthodologie d'analyse du système didactique pour ce qui concerne l'enseignement en classe de physique.

Ce choix est le résultat d'un mouvement à double sens, dans lequel le cadre théorique et la confrontation aux éléments observables s'alimentent l'un l'autre. Ce mouvement, pour autant qu'on puisse lui attribuer une origine - qui resterait le cas échéant malgré tout arbitraire - puise sa source dans les ouvrages d'épistémologie cités précédemment, dont la lecture est sous influence de notre expérience d'enseignement et de formation à l'enseignement de la physique, pour y repérer ce qui nous a semblé a priori pertinent pour comprendre les pratiques d'enseignement. Le travail d'élaboration des questions de recherche, et les éléments d'observations plus instrumentées nous ont conduit de manière

rétroactive à donner plus d'importance à certains concepts épistémologiques (comme celui de modèle par exemple) et pas d'autres (comme le concept d'évolution des théories par exemple), dans la mesure où ces derniers ne constituent pas, a priori, pour l'instant, des savoirs en jeu dans les quelques classes de physique du secondaire d'enseignement général qui ont servi d'espace des observations pour cette étude.

Autrement dit, nous avons choisi de définir les concepts que l'épistémologie identifie comme caractéristiques de ce que l'activité scientifique en physique produit et qui nous semblent a priori les plus pertinents à identifier dans les observations des pratiques d'enseignement et dans les conceptions des enseignants en la matière : les concepts de modèle et de modélisation, de loi et de théorie, d'hypothèse, d'observation et d'expérimentation, de faits et d'objets, et les relations qu'entretiennent ces concepts entre eux, à l'intérieur de schémas de fonctionnement qui caractérisent divers courants de pensée en épistémologie qui ne distinguent jamais vraiment les produits de l'activité scientifique des processus de leur production. Nous allons commencer par examiner les concepts épistémologiques produits par la science physique, au premier rang desquels nous situons les théories.

2 À propos des théories

Le choix de commencer par traiter des théories est arbitraire, et relève du constat que les programmes d'enseignement de la physique dans le secondaire sont habituellement organisés en thèmes qui listent un certain nombre de contenus scientifiques assemblés en différents champs théoriques comme ceux de la mécanique, de l'optique, de la physique des gaz, de l'électrodynamique, etc… Après avoir essayé de donner une définition de ce qu'est une théorie, nous verrons ce qui la caractérise dans l'activité scientifique et dans le corpus des connaissances scientifiques.

A la lecture des diverses références en épistémologie sur lesquelles nous nous sommes appuyées, les théories semblent être abordées sous différents angles que sont leur fonction

(à quoi servent les théories ?), leur nature propre (qu'est-ce qui fait qu'une théorie est une théorie ?), les processus de leur élaboration dans l'activité scientifique (comment les théories sont-elles construites ?) et les relations qu'elles entretiennent avec les objets du réel dont elles rendent compte (que peut-on attendre d'une théorie ?). Ces approches constituent bien des questions fondamentales de l'épistémologie. Cependant, les théories ne sont pas toujours définies de manière intrinsèque, et font, semble-t-il, intervenir d'autres constituants caractéristiques de l'activité scientifique que nous souhaiterions définir et caractériser à leur tour par la suite (au vu des objectifs que nous nous sommes assignés pour cette recherche) :

> *« La théorie physique se propose de donner, de la nature tout entière, ou, provisoirement, des portions les plus étendues possibles de celle-ci, une représentation adéquate en établissant une correspondance exacte entre l'ensemble des phénomènes étudiés et un système cohérent de lois mathématiques » (Ullmo, 1969) ;*

> *« Une théorie approfondit notre compréhension en montrant que les lois empiriques qu'on avait formulées antérieurement et qui étaient censées fournir une explication ne sont pas strictes et sans exceptions, mais constituent des approximations valables à l'intérieur de certaines limites. (…) Une bonne théorie permet un élargissement, un enrichissement de la compréhension d'un objet d'étude. Elle permet de rendre compte de phénomènes très divers en les unifiant systématiquement. » (Hempel, 1972)*

Ces définitions fonctionnelles de la théorie mettent en jeu des termes comme « représentation », « exacte », « lois mathématiques » et « lois empiriques » qui constituent eux-mêmes des objets de réflexion pour l'épistémologie, et que les auteurs n'explicitent pas de manière systématique. Or, ces concepts -sur lesquels nous reviendrons plus loin- doivent être précisés de manière indépendante du concept de théorie, pour pouvoir espérer définir cette dernière. Autrement dit, la théorie semble se définir par ses constituants qui sont définis eux-mêmes en faisant appel quelque part à la théorie :

> *« Pour qu'un ensemble d'énoncés puissent acquérir un statut de théorie, il doit présenter une « organisation interne », et ses constituants doivent être « interconnectés », agencés selon des rapports « hiérarchiques » (Soler, 2000, p. 19).*

Ceci nous permet de mettre en avant l'inévitable interdépendance qu'entretiennent toutes les notions que nous nous proposons d'explorer.

Ainsi, dans notre tentative de poser une définition comme point de départ, il semble se dégager l'idée que les sciences empiriques en général et la physique en particulier, en tant que produits de la connaissance rationnelle se présentent sous la forme d'un « *ensemble d'énoncés à propos du monde* » (Soler, 2000) à caractère explicatif et/ou prédictif (Toulmin, 1973 ; Hempel, 1972), constituant « *un système d'idées connectées logiquement entre elles* » (Bunge, 2001), qui forment ce que l'on appelle « théories ». Ces théories visent à donner d'une multitude de phénomènes une explication la plus précise possible, tout en cherchant à réduire le nombre d'énoncés relatifs à la diversité de ces phénomènes, et à les prédire ou les rétrodire :

- L'idée selon laquelle la tâche principale de la science est d'expliquer les phénomènes est généralement partagée par l'ensemble des scientifiques et des épistémologues, même si le terme « expliquer » peut être compris à des degrés divers (Soler, 2000, p.62, Toulmin, 1973).
- D'autre part, la capacité d'une science empirique à stipuler à l'avance quels évènements observables se produiront dans des conditions spécifiées est considérée comme un gage de scientificité, car elle constitue le moyen par excellence de tester la valeur d'une théorie dans son rapport au réel et assure à la science son ancrage empirique (Ullmo, 1969, p.).

Selon Ullmo (1969, p.), une « *théorie scientifique se propose de donner de la nature tout entière ou, provisoirement, des portions les plus étendues possibles de celle-ci, une représentation adéquate en établissant une correspondance entre l'ensemble des phénomènes étudiés et un système cohérent de lois mathématiques* ». Ces dernières assurent ainsi une correspondance entre éléments observés et symboles mathématiques, et sont en ce sens le matériel de travail de la théorie physique. La théorie utilise ainsi la puissance des mathématiques pour coordonner et hiérarchiser les équations dont elle dispose. La théorie donne en retour à toutes ces équations par une traduction inverse la

forme de « lois de la nature » (ibid.) auxquelles elle attache la même valeur de réalité qu'aux lois directement tirées de l'expérience (lois empiriques) et les soumet, quand cela est possible, à l'expérience. La théorie dispose, à ce stade, d'un ensemble étendu de formules liées et s'attache à réduire cet ensemble à un ensemble optimisé de relations indépendantes les unes des autres, dont toutes les autres ne sont que des conséquences.

On peut trouver à caractériser les théories à travers deux caractéristiques intrinsèques : leur structure et leur vérité sur le monde, ce qui implique de voir ce que le terme de vérité signifie dans ce cas, et en quoi ce second aspect est en lien avec le rapport qu'entretient une théorie à son objet.

2.1 Les théories comme structures.

Les théories doivent présenter des *principes internes* et des *principes de liaison* (Hempel, 1972) :

- Les principes internes caractérisent les entités et les processus fondamentaux invoqués par la théorie et les principes (ou lois théoriques) auxquels ceux-ci sont censés se conformer (on peut citer notamment les principes de conservation de l'énergie, de la quantité de mouvement, le principe de Fermat relatif à la propagation de la lumière, etc.).

- Les principes de liaison indiquent comment les processus décrits par les théories sont reliés aux phénomènes empiriques que nous connaissons déjà et que la théorie peut alors expliquer, prédire, ou rétrodire. Ce rapport des théories aux éléments empiriques, les rendent conformes au principe de testabilité par le biais de ses implications vérifiables.

Alors que les principes internes d'une théorie sont exposés à l'aide de termes théoriques qui la caractérisent, leurs implications vérifiables doivent être formulées au moyen de termes

dont le sens est déjà compris, car ces termes ont été introduits antérieurement à la théorie qui peut en redéfinir le sens mais peuvent être utilisés indépendamment d'elle.

Par exemple, la théorie cinétique des gaz explique le comportement des gaz par des *principes internes* qui caractérisent des mécanismes microscopiques au niveau moléculaire alors que les *principes de liaison* rattachent certains aspects de ces comportements microscopiques à des propriétés macroscopiques observables correspondantes d'un gaz.

L'explication théorique de la loi empirique de Boyle stipule que la pression d'une masse déterminée de gaz à température constante est inversement proportionnelle à son volume. Cette explication fait appel pour l'essentiel aux *principes internes* du caractère aléatoire des mouvements des molécules qui constituent le gaz et les *lois* probabilistes qui régissent ces mouvements. Le rattachement à la grandeur macroscopique pression est assuré par un principe de liaison énonçant que la pression exercée par un gaz sur les parois d'un récipient résulte du choc des molécules sur les parois et qu'elle est égale en grandeur à la valeur moyenne de la quantité totale de mouvement que les molécules cèdent par unité de temps aux parois par unité de surface. Ces suppositions conduisent à la conclusion que la pression d'un gaz est inversement proportionnelle à son volume et directement proportionnelle à l'énergie cinétique moyenne de ses molécules. L'explication recourt ensuite à un second principe de liaison : l'énergie cinétique moyenne des molécules d'une masse déterminée de gaz demeure constante aussi longtemps que la température le reste. Ce principe, joint à la conclusion précédente, conduit manifestement à l'explication de la loi de Boyle.

Dans de nombreux exemples comme celui-là, on peut dire que les principes de liaison rattachent certaines entités dont la théorie suppose l'existence, mais qui ne peuvent pas être directement observées ou mesurées (telles que les molécules en mouvement, leur masse, leur quantité de mouvement, et leur énergie), à des aspects plus ou moins directement observables ou mesurables de systèmes physiques à notre échelle comme la température. Mais les principes de liaison ne rattachent pas toujours des entités théoriques inobservables à des observables directement expérimentaux. Il faut souvent passer par des intermédiaires. Aussi, il n'est pas nécessaire que les phénomènes auxquels les principes de

liaison rattachent les entités et processus fondamentaux dont l'existence est posée par une théorie soient directement observables ou mesurables : ils peuvent être très bien être caractérisés dans le cadre de théories établies antérieurement et leur observation ou leur mesure peut présupposer les principes de ces théories. Privée de principes de liaison, une théorie n'aurait pas de relation au réel, donc ne serait pas « *testable* », et ainsi n'aurait aucun pouvoir d'explication sur le monde. (Hempel, 1972).

2.2 Les théories comme vérité sur le monde.

Reprenant les propos de Soler (2000), une théorie possède une propriété de vérité, à laquelle sont associées trois conceptions :

- Une théorie est considérée comme vraie, si elle décrit fidèlement ce qui est, c'est-à-dire si les entités, relations, processus et états de choses mentionnés dans la théorie existent dans la réalité. Si cette conception est largement partagée dans la pensée occidentale, et constitue à ce titre un paradigme de toute conception de la vérité, comme nous le verrons plus loin notamment dans l'examen des conceptions des enseignants relativement à la nature de la science, elle assure aux connaissances scientifiques un statut auquel d'autres champs de connaissances ne peuvent prétendre. Cette conception est qualifiée généralement de « réaliste naïve », et présente le défaut d'absence de critère empirique permettant de décider en pratique qu'un énoncé est vrai ou faux : aucun élément empirique ne permet de s'assurer par exemple que l'énoncé « les atomes sont constitués d'électrons » est conforme à la réalité.

- Une théorie est vraie si elle est exempte de contradiction, et un énoncé est vrai s'il s'intègre sans contradiction à un ensemble préalablement admis d'autres énoncés. Cette conception de la vérité d'une théorie comme propriété de cohérence offre un critère empirique pour décider concrètement de sa vérité ou de sa fausseté. Mais pour la physique, comme pour les sciences empiriques en général, la cohérence des énoncés est en général considérée comme condition minimale nécessaire mais non suffisante, car on

ne saurait se passer de référence à des états de choses extra-linguistiques.

- Enfin, une théorie est considérée comme vraie si les membres d'une communauté déterminée s'accordent à la juger vraie. Ici, c'est le consensus qui est posé comme constitutif de la vérité. Cette conception est considérée comme relative aux Hommes et à leurs moyens de connaître. Dans ce cas comme dans le précédent, cette conception offre un moyen concret efficace pour décider en pratique la question de la vérité ou de la fausseté de la théorie. Mais là encore, elle ne détrône pas la conception absolue de vérité comme correspondance car cette dernière affirme une relation entre l'énoncé et la réalité indépendante de l'Homme, se refusant par là-même de réduire la vérité à un accord intersubjectif éventuellement faillible.

2.3 Rapport d'une théorie à son objet

Les théories sont un ensemble d'énoncés sur le monde, et portent sur des objets. Si Bunge parle de problème (2001), nous préférons lui associer le terme d'objet scientifique : les objets que traite la science sont de ce fait délimités et partiels. Ces objets sont au début étroits, et résultent d'un rétrécissement, mais à mesure que la recherche évolue, sa portée s'élargit.

Les résultats de la science sont généraux à deux points de vue : aussi bien en ce sens qu'ils se réfèrent à des classes d'objets de plus en plus vastes (par exemple : la pluie), que parce qu'ils sont ou tendent à être incorporés à des théories. Il faut donc parler de ce qu'est un objet, et le rapport qu'entretient la théorie avec cet objet, sous l'angle du réalisme ou de l'antiréalisme, qui est en lien quelque part avec le premier point relatif à la notion de vérité de la théorie.

2.4 Fonctionnement d'une théorie dans la science normale

Nous ne nous intéresserons pas dans ce qui suit aux processus d'élaboration des théories

pour la raison suivante : l'enseignement de la physique a pour finalité de transmettre chez les élèves des savoirs et des pratiques de la physique qui ont fait l'objet d'une adaptation par un processus de transposition didactique (Chevallard, 1991). Ces savoirs et pratiques transformés ont pris place dans les curricula car ils ont été désignés par la *noosphère* comme étant nécessairement transmissibles, et font à ce titre partie du patrimoine des connaissances scientifiques à partager au sein de la société. A la lecture des programmes d'enseignement actuels de la physique au lycée, nous avons constaté que les savoirs à enseigner ne relèvent pas de controverses scientifiques ou de théories en cours d'élaboration, donc qui relèvent des questions socialement vives ou des *« social scientific issues* », mais d'un certain nombre de cadres théoriques « stables », caractéristiques d'un fonctionnement de la science dite « *normale* » (ibid.). Ils sont ainsi en relation avec des savoirs « savants » considérés comme « *paradigmatiques »,* au sens de Kuhn (1983), c'est-à-dire qui font consensus au sein de la communauté scientifique. Aussi ne nous intéresserons-nous pas au volet de l'épistémologie qui traite de l'identification des facteurs et des processus qui conduisent à l'évolution, la modification ou à l'élaboration des théories, mais seulement à ceux qui permettent de caractériser le statut et le rôle des théories dans la « science normale ».

Selon Ullmo (1969), « la théorie scientifique se propose de donner de la nature toute entière ou, provisoirement, des portions les plus étendues possibles de celle-ci, une représentation adéquate en établissant une correspondance entre l'ensemble des phénomènes étudiés et un système cohérent de lois mathématiques ». Ces dernières assurent ainsi une correspondance entre éléments observés et symboles mathématiques, et sont en ce sens le matériel de travail de la théorie physique. La théorie utilise ainsi la puissance des mathématiques pour coordonner et hiérarchiser les équations dont elle dispose. La théorie donne à toutes ces équations par une retraduction inverse la forme de « lois de la nature » auxquelles elle attache la même valeur de réalité qu'aux lois directement tirées de l'expérience et les soumet, quand cela est possible, à l'expérience. La théorie dispose, à ce stade, d'un ensemble étendu de formules liées et s'attache à réduire cet ensemble à un

ensemble optimisé de relations indépendantes les unes des autres, dont toutes les autres ne sont que des conséquences.

La théorie fonctionne tel un système hypothético-déductif (Soler, 2000, p. 19) : à partir des énoncés théoriques et du choix des conditions initiales prises comme base, sont déduites un grand nombre de conséquences, qui prennent l'allure d'implications vérifiables, mais pas toujours de manière effective. Ceci renvoie au principe de testabilité des théories, (Hempel, 1972, p.177), selon lequel elles doivent être en mesure d'être confrontées au réel et satisfaire en même temps à des « *principes* » plus généraux : (…) *Le but de l'explication théorique, est d'apporter une forme objective d'intellection*[31] *qui s'obtient en unifiant systématiquement les phénomènes et en les faisant apparaître comme des manifestations de structures et de processus sous-jacents communs, qui obéissent à des principes déterminés, testables, fondamentaux* » (p.130). Autrement dit, comme l'écrit Hempel (op. cit.), on fait appel aux théories quand l'étude antérieure d'une classe de phénomène a mis en évidence un système de relations uniformes qui peuvent s'exprimer par des lois empiriques. Le but des théories est alors d'exprimer ces régularités et, de façon générale, d'apporter une compréhension plus approfondie et plus « exacte » des phénomènes en question, comme les manifestations d'entités ou processus situés, si l'on peut dire, à l'arrière-plan. La théorie explique alors les relations uniformes antérieurement découvertes et prédit aussi des régularités nouvelles du même ordre[32] qui n'ont pas encore fait l'objet d'observations.

Pour revenir sur les exemples précédents, la théorie cinétique des gaz propose des explications pour une grande diversité de régularités établies par l'expérience en les interprétant comme les manifestations, à l'échelle macroscopique de régularités statistiques

[31] Définition du Littré : (terme de philosophie) action de comprendre, de concevoir

[32] Une discussion informelle récente avec un physicien qui travaille sur les phénomènes « hors équilibre » illustre ce propos : à développer sur quelques lignes...

propres aux phénomènes moléculaires et atomiques sous-jacents. Les entités et les processus fondamentaux postulés par une théorie et les lois supposées les régir doivent être définis avec toute la clarté et la précision souhaitables ; faute de quoi, la théorie ne peut remplir son but scientifique. Les suppositions que fait une théorie sur des processus sous-jacents doivent être suffisamment définis pour permettre la dérivation d'implications particulières concernant les phénomènes que la théorie a pour but d'expliquer[33].

3 A propos des lois

L'activité scientifique cherche à produire des lois (de la nature et de la culture) et elle les applique. La connaissance scientifique insère les faits singuliers dans des normes générales appelées « lois naturelles » ou bien « lois sociales ». Au delà du désordre et du caractère mouvant des apparences, la science factuelle découvre les normes régulières de la structure et du processus de l'être et du devenir. Dans la mesure où la science cherche des lois, elle est essentialiste : elle tente d'atteindre la racine des choses. Elle trouve cette essence dans les variables pertinentes et dans les rapports invariants entre celles-ci.

Il y a des lois des faits, et des lois au moyen desquelles l'on peut expliquer d'autres lois. Le principe d'Archimède appartient à la première catégorie; mais, à son tour, il peut se déduire des principes généraux de la mécanique; en conséquence, il cesse de constituer un principe indépendant, et devient un théorème, déductible d'hypothèses d'un niveau plus élevé. Les lois de la physique fournissent la base des lois des combinaisons chimiques : les lois de la physiologie expliquent certains phénomènes psychiques ; et les lois de l'économie se rattachent aux fondements de la sociologie. Autrement dit, les énoncés des lois s'organisent en une structure hiérarchique.

[33] On ne retombe pas loin des caractérisations Popperiennes de falsifiabilité.

Certes, les énoncés des lois sont provisoires; mais les lois elles-mêmes sont-elles immuables ? Si l'on considère les lois comme les normes-mêmes de l'être et du devenir, alors elles devraient changer en même temps que les choses elles-mêmes ; du moins doit-on admettre qu'avec l'émergence de nouveaux phénomènes, leurs qualités particulières se relient entre elles au moyen de lois nouvelles. Par exemple, les lois de l'économie ont émergé au cours de l'histoire sur la base d'autres lois (biologiques et psychologiques) ; qui plus est, certaines d'entre elles changent suivant le type d'organisation sociale.

Naturellement tous les faits singuliers connus n'ont pas été encore transformés en cas particuliers de lois générales ; les événements et processus dont les niveaux de complexité sont très élevés n'ont été interprétés, en particulier, que dans une faible mesure en termes de lois. Mais la raison en est en partie l'ancien préjugé d'après lequel ce qui est humain n'est pas assujetti à des lois, ainsi que l'ancienne croyance pythagoricienne d'après laquelle seuls les rapports numériques méritent le nom de « lois scientifiques ». Le stock complet des outils conceptuels devrait être employé dans la recherche des lois de l'esprit et de la culture ; qui plus est, il est possible que le stock dont on dispose soit insuffisant et qu'il soit nécessaire d'inventer des outils entièrement nouveaux pour traiter les phénomènes spirituels et culturels, tout comme la naissance de la mécanique moderne aurait été impossible sans l'invention délibérée du calcul infinitésimal.

Mais la progression du processus de recherche de lois pour les phénomènes non physiques, exige, avant tout, une nouvelle attitude face au concept même de loi scientifique. En premier lieu, il faut comprendre qu'il y a de nombreux types de lois (y compris à l'intérieur d'une même science), aucune d'entre elles n'étant nécessairement meilleure que les autres. En second lieu, le fait qu'on ne parvienne pas aux lois par la seule observation ni par simple inventaire, mais par la mise à l'épreuve d'hypothèses, devrait devenir une évidence pour les chercheurs du domaine des sciences de l'esprit : les énoncés des lois ne sont pas autre chose que des hypothèses confirmées. Comment pourrions-nous donc entreprendre l'élaboration d'hypothèses scientifiques si nous ne soupçonnions pas que tout fait singulier est susceptible d'être interprété en termes de lois ?

3.1 Définition d'une loi scientifique

A la lecture d'ouvrages scientifiques, tels que les cours complets de physique qui présentent l'état des savoirs en la matière et qui servent de référence pour les étudiants, il n'est pas aisé de se rendre compte de ce qu'est une « loi » scientifique de manière générale, au-delà de ses multiples déclinaisons en des cas particuliers (loi de la réfraction, loi d'Ohm, lois de Newton, etc.). Conséquemment, très peu nombreux sont les épistémologues qui s'accordent sur ce que désigne le terme de « loi » dans le contexte de la science. Bunge (2001, p. 50) propose une nomenclature relative à la variété sémantique du concept de « loi », qu'il décline en 4 catégories :

- *Loi*$_1$ ou simplement *loi*, dénote toute norme immanente, invariable, de l'être ou du devenir : c'est-à-dire toute relation constante et objective dans la nature, constituant la structure de la réalité. Ces lois ne sont pas sensibles mais intelligibles : elles ne sont pas perceptibles, mais les physiciens les infèrent à partir des phénomènes. Les différentes formulations des lois du mouvement d'Aristote à Einstein constituent des des déclinaisons sous forme d'énoncés d'une même loi relative au mouvement des corps.

- *Loi*$_2$ ou *énoncé nomologique* ou *énoncé de loi*, désigne toute hypothèse générale (particulière ou universelle) qui se réfère indirectement à une *loi*$_1$ et qui constitue la version conceptuelle de celle-ci. Il s'agit de propositions, prenant souvent la forme d'équations, au sujet de normes objectives. Toute loi de ce type possède un domaine de validité particulier et est faillible parce qu'elle dépend en partie de l'expérience. Mais tout énoncé nomologique peut être perfectionné dans son extension aussi bien que dans sa précision. La loi de Newton selon laquelle « *la force est égale à la masse multipliée par l'accélération* » en est un exemple. Ce niveau de généralité permet aux énoncés de loi d'être identifiés à des « *hypothèses générales* » (nous verrons plus loin les caractéristiques de ce qui est dénommé « hypothèse ») dont seules les conséquences particulières sont vérifiables. Ce sont ces conséquences particulières

qui constituent la catégorie suivante :

- *Loi*$_3$ ou *énoncé nomopragmatique* : toute règle d'action, relation invariable de nature pragmatique, au moyen de laquelle on peut régler (avec succès ou non) un comportement. Les lois$_3$ sont presque toujours des conséquences des lois$_2$ conjointement avec des éléments d'information spécifiques. Une catégorie privilégiée de ce type de lois$_3$ est celle des énoncés nomologiques prédictifs, c'est-à-dire des propositions au moyen desquelles sont faites des prédictions (ou des rétrodictions) d'événements singuliers. Ces énoncés de lois doivent être généraux, significatifs et vérifiables. Par exemple, toute solution de l'équation de Newton dans laquelle sont intégrées des conditions initiales (position x_0 et vitesse initiale v_i, masse et géométrie corps en mouvement) constitue une loi$_3$. Ainsi l'équation de Galilée $x(t) = 0{,}5.g.t^2 + v_i.t + x_0$ est une conséquence vérifiable de la deuxième loi du mouvement de Newton, et est utilisée pour effectuer des prédictions sur la durée d'une chute par exemple pour laquelle auront été définies les conditions initiales.

- *Loi*$_4$ ou *énoncé métanomologique* : ce sont des « *lois sur les lois* », autrement dit tout principe général relatif à la forme et/ou à la portée des énoncés de loi appartenant à une quelconque branche de la science factuelle. Ce sont des prescriptions méthodologiques et/ou des principes ontologiques, de nature métascientifique ou épistémologique qui guident la construction des théories. On trouve dans cette catégorie tout ce qui est appelé « principes » tels que celui de la covariance générale, de relativité du mouvement, de conservation de l'énergie totale d'un système isolé (appelé premier principe de la thermodynamique), de stationnarité du chemin optique parcouru par la lumière (appelé aussi principe de Fermat), de conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie dans les collisions, etc.

Une des fonctions du monde (de la) physique est de rendre compte des lois qui règnent dans le monde sensible, ce qui fournit le critérium fondamental de la validité du schéma physique et de son adéquation au monde réel, car celui-ci est à son tour le support du monde sensible (Halbwachs, 1969). Les lois scientifiques représentent une catégorie particulière à l'intérieur

des énoncés théoriques et jouent en ce sens « *un rôle privilégié dans la science* » (Soler, 2000, p.89).

Une loi stipule une corrélation constante entre plusieurs phénomènes, une corrélation qui est universelle au sens où elle est sensée valoir pour absolument tous les cas du type considéré, donc un nombre infini de cas de même type, qu'ils soient ou non effectivement observés. Un énoncé de ce genre affirme l'existence d'une relation entre différents phénomènes empiriques ou entre différents aspects d'un phénomène empirique. Il signifie que, quand et où que ce soit, si des conditions d'un genre déterminé A sont réunies, alors de la même façon, toujours et sans exception aucune, certaines conditions d'un autre genre B sont également réunies : quand la température d'un gaz s'élève, sa pression restant constante, son volume augmente. Elle obéit ainsi à une forme logique rigoureuse : dans le cas de la loi de Boyle par exemple, si x est un gaz parfait à la température T, la pression A du gaz x est inversement proportionnelle au volume B de ce gaz. La plupart des lois des sciences de la nature sont quantitatives ; elles affirment l'existence de relations mathématiques déterminées entre différentes grandeur caractéristiques de systèmes physiques.

3.2 Le rapport d'une loi aux faits

Vérifier une loi, c'est la « réduire à des énoncés d'observations singuliers intersubjectivement validés ». Or une infinité d'énoncés sont susceptibles d'être dérivés d'une loi universelle. Pour la vérifier, il faut donc observer tous les faits singuliers auxquels renvoie la loi. Sa vérification dans n cas n'assure aucunement qu'elle soit vraie sur le cas n+1. C'est le problème de l'induction, forme de raisonnement couramment utilisée, tant dans la vie quotidienne que dans la pratique scientifique. Elle consiste à conclure que ce qui est vrai dans un nombre fini (en général élevé) de cas restera vrai dans tous les cas sans exception. L'induction consiste à dériver, à partir d'énoncés singuliers, des énoncés universels. Cette inférence n'est pas logiquement valide. Or, affirmer qu'une loi universelle empirique est vérifiée, c'est procéder à une induction : c'est postuler qu'aucune exception à la loi ne surviendra dans le futur, et donc postuler quelque chose que rien ne permet de justifier

logiquement. Ainsi, alors qu'il est possible de vérifier une loi dans un cas particulier, il n'est pas fondé logiquement que le caractère universel soit vérifié, et cela relève plutôt d'un critère proche de celui de vérité en tant que consensus.

3.3 Fonctionnement des lois dans l'explication scientifique

Les énoncés factuels singuliers peuvent se déduire d'énoncés factuels généraux (hypothèses appelées $Lois_2$). L'explication scientifique se réduit à cela du point de vue logique (Bunge, 2001, p. 60)

Une loi universelle permet d'expliquer les faits singuliers, et en même temps prédire les évènements futurs. L'explication revient à mettre en oeuvre un schéma dit déductif-nomologique (DN) (déduction de phénomènes via les lois) dans lequel les lois jouent un rôle essentiel : l' « *explanans* » (ce qui explique) rend compte de l' « *explanandum* » (ce qu'il y a à expliquer) au moyen de deux ingrédients que sont une loi de forme universelle et des conditions factuelles initiales (Hempel, 1972). La loi fournit le lien qui permet d'expliquer par des circonstances particulières l'occurrence d'un événement. Pour reprendre l'exemple de la physique des gaz, si on met en oeuvre les conditions initiales, connaissant la loi de Boyle, on est en mesure de prévoir les conditions finales) :

- *Explanandum* : augmentation de la pression d'une quantité donnée de gaz
- *Explanans* : Fait singulier : le volume de ce gaz a diminué
- *Loi universelle* : loi de Boyle

Dans une telle explication, les phénomènes *explanandum* peuvent être de nature différente :

- un événement qui se produit à un endroit et à un moment particuliers (la hauteur de la colonne de mercure dans un tube de Torricelli a diminué au cours de la montée du Puy de Dôme),

- un phénomène directement observable que l'on voit se produire avec régularité dans la nature (arc-en-ciel),
- un phénomène dont l'uniformité ou la régularité ne sont pas directement observables et sont construites et exprimées par des lois empiriques telles que la loi de Galilée relative à l'accélération des corps, les lois de Kepler relatives au mouvement des planètes autour du soleil. L'explication déductive de tels phénomènes fera alors appel à d'autres lois « plus larges » comme les lois newtoniennes du mouvement et de la gravitation.

Dans le fonctionnement même de cette explication DN, la loi satisfait à l'exigence de testabilité comment nous l'avons mentionné précédemment, puisque l'*explanans* implique entre autres choses que, des conditions bien déterminées étant bien remplies, le phénomène *explanandum* se produise.

4 De l'observation et de l'expérimentation

L'observation et l'expérimentation son en premier lieu des instruments au service de la vérifiabilité des connaissances en physique. Mais avant tout, précisons la question de la vérification en physique, comme dans les sciences factuelles en général. A cette fin nous nous sommes appuyés essentiellement sur (Bunge, 2001)

On ne peut prétendre « *prouver que la connaissance scientifique, par opposition à la connaissance ordinaire, technologique ou philosophique, soit vraie* » (Bunge, 2001, p. 26). La connaissance scientifique se caractérise davantage par la manière, le moyen ou la méthode utilisés par la recherche scientifique pour poser des problèmes et mettre à l'épreuve des faits les solutions proposées, que par la véracité qui est son objectif.

Une donnée ne sera considérée comme vraie, jusqu'à un certain point, que si elle peut être confirmée suivant les canons de la méthode scientifique. Pour qu'une connaissance mérite l'adjectif de scientifique, il ne suffit pas, et il n'est pas non plus nécessaire qu'elle soit vraie.

En revanche, il est important de savoir comment, de quelle manière, il a été possible d'établir, ou de supposer que l'énoncé en question est vrai. Il est nécessaire d'énumérer les opérations empiriques ou rationnelles susceptibles de le vérifier (confirmer ou infirmer) d'une manière objective.

L'observation et l'analyse ne suffisent pas pour vérifier un énoncé car ce sont les propositions, et non les faits, qui sont vraies ou fausses et qui peuvent en conséquence être vérifiées. Nous prouvons nos affirmations en les confrontant avec d'autres énoncés. L'énoncé susceptible de confirmer ou d'infirmer une théorie s'appelle *verificans* : c'est l'énoncé qu'il y a à vérifier. Cet énoncé dépend de la connaissance disponible et de la nature de la proposition donnée (*verificandum*) : c'est l'ensemble des connaissances disponibles pour mettre en œuvre une vérification d'un énoncé *vérificans*. Les énoncés susceptibles de confirmer une théorie seront relatifs à l'expérience si ce que l'on soumet à l'épreuve est une affirmation factuelle, c'est-à-dire un énoncé portant sur des faits, que ceux-ci aient été soumis à expérimentation ou non. Notons, en passant, que le chercheur a entièrement le droit de spéculer sur des faits non susceptibles d'être soumis à l'expérience, c'est-à-dire qui sont au-delà de la portée de l'expérience humaine à une étape donnée du développement de la connaissance ; mais dans ce cas, le chercheur est censé pouvoir indiquer les expériences qui permettraient d'inférer tels ou tels faits non observés ou même inobservables; c'est-à-dire qu'il est obligé de fonder ses énoncés factuels sur des expériences connectées, d'une manière ou d'une autre, avec les faits non empiriques qui sont présupposés. Il suffit d'évoquer les cas de quelques inobservables célèbres : la face cachée de la Lune, les ondes lumineuses, les atomes.

On oppose parfois l'expérimentation à l'observation. Notons toutefois d'emblée que la première présuppose toujours la seconde : toute procédure expérimentale exige en effet, à un moment ou à un autre, des observations (aiguille du voltmètre a dévié de cinq graduations ; ce mélange chimique dégage une odeur de soufre, etc.). Cette opposition s'alimente de deux oppositions majeures : l'actif et le passif, l'investigation outillée et non outillée. On parle d'expérimentation active (modifie le cours des choses, crée des situations

artificielles dans le but de déterminer ce qui advient lorsque l'on fait varier telle ou telle condition) et d'observation passive (consigner ce qui a lieu).

L'observation fait appel, dit-on, uniquement aux cinq sens, la vue jouant un rôle privilégié, l'expérimentation adjoint alors aux sens humains des capacités d'investigation supplémentaires et de plus en plus sophistiquées par l'intermédiaire des instruments de mesure. L'expérimentation renvoie à l'idée d'intervention volontaire, systématique et contrôlée sur le cours des événements, à l'aide d'instruments. Elle permet non seulement de mesurer les caractéristiques d'un phénomène, mais aussi de modifier délibérément les conditions de l'enchaînement naturel des phénomènes afin de déterminer quels paramètres concourent à produire un effet donné.

Mais dans une approche plus fine, l'observation est elle aussi active : elle est dirigée par une intention et orientée par certaines conceptions préalables plus ou moins précises et conscientes d'elles-mêmes qui ont une influence certaine sur le compte rendu d'observation. Observer ne se réduit jamais à collecter indifféremment ce qui arrive, car l'observateur est intellectuellement actif (il pose des questions à la nature), même s'il reste matériellement passif et s'abstient d'intervenir effectivement en vue de dissocier artificiellement les multiples facteurs naturellement imbriqués.

Popper (1985) affirme à l'égard de la nature des théories positiviste et néopositiviste que nous détaillerons plus loin, que « *la croyance selon laquelle la science procède de l'observation à la théorie est si répandue et si fermement ancrée, de nos jours encore, que le démenti que je lui oppose suscite le plus souvent l'incrédulité (…) Mais en fait, l'idée qu'il est possible de partir de pures observations, sans qu'intervienne aucun élément d'ordre théorique, constitue une absurdité (…) L'observation est toujours sélective (…) Il est certes bien vrai que toute hypothèse retenue aura toujours été précédée par des observations, par exemple celles mêmes qu'elle est destinée à expliquer. Mais celles-ci présupposaient à leur tour l'adoption d'un cadre de référence, d'une grille d'attente, d'un cadre théorique* ».

Ainsi l'observation des faits est couplée avec l'interprétation qui en est faite et qui leur

donne un sens : elle implique la participation de l'esprit de l'observateur, son engagement actif, car les données de l'observation ne sont pas « données » mais doivent être cherchées. Pour pouvoir qualifier d' « inattendu » un fait particulier que l'on a perçu, et en tirer un principe général, il faut d'abord posséder un cadre théorique précisant ce qui, dans certaines situations, devrait être attendu. Pour Bachelard (1938), « *les phénomènes portent de toutes parts la marque théorique* (…). *L'observation scientifique est toujours une observation polémique, elle confirme ou infirme une thèse antérieure, un schéma préalable, un plan d'observation ; elle montre en démontrant ; elle hiérarchise les apparences ; elle transcende l'immédiat ; elle reconstruit le réel après avoir reconstruit ses schémas* ».

Un instrument de mesure est par conséquent en quelque sorte un objet (de la) physique concret, et un objet conçu relevant d'un modèle théorique sur lequel raisonne l'homme de science. Donner sens à une expérience impliquant des dispositifs expérimentaux, c'est, d'après ce qui précède, pouvoir établir une correspondance entre deux niveaux : le niveau très basique des perceptions de la vie quotidienne (associé à des énoncés d'observation formulés à l'aide du langage ordinaire : « le mercure s'est élevé de x mm ») et celui, plus élaboré, de l'interprétation de ces perceptions (associé quant à lui à des énoncés plus théoriques : « la pression a diminué de y atmosphères »). Le raccord entre les deux niveaux (l'équivalence posée entre l'énoncé d'observation et l'énoncé théorique) est assuré par une élaboration théorique plus ou moins complexe et plus ou moins fiable, qui mobilise en particulier toutes les théories utilisées pour la conception de l'appareil, et à laquelle reste toujours subordonnée la valeur de l'interprétation proposée.

La confiance accordée aux interprétations expérimentales est directement fonction de la fiabilité des théories mises en jeu. Dans le cas d'instruments basés sur des principes théoriques mal maîtrisés, ou dans des contextes historiques où l'utilisation d'appareils de mesure est chose relativement rare, les perceptions résultant de l'interposition de l'appareil ont une signification ambiguë.

Concevoir un instrument, c'est exploiter un ensemble de théories admises. Utiliser un instrument, donner sens et se fier à ses indications, c'est encore faire confiance à des

théories. Tout dispositif de mesure est un concentré de théories, matériellement incarné, dont les résultats ne sont exploitables qu'en référence aux théories correspondantes. Selon Bachelard, les instruments de mesure sont ainsi des théories matérialisées et l'expérimentation en tant que mise à l'épreuve des prévisions des modèles constitue une « phénoménotechnique ».

Quand le spécialiste ou le profane utilise des instruments de mesure dont la fiabilité n'est pas contestée, on en vient à estomper le passage entre la perception obtenue via l'appareil et l'énoncé théorique interprétatif correspondant. Le dispositif expérimental est devenu transparent. L'homme de science omet son intervention et celles des théories qui y sont associées : il y a confusion entre l'interprétation et la chose étudiée même. Dans la pratique quotidienne de laboratoire, le physicien s'exprime la plupart du temps comme s'il percevait et manipulait directement des particules microscopiques, des champs magnétiques. L'interprétation est instantanée, immédiate, automatique. C'est opérer une reconstruction analytique rétrospective que d'affirmer qu'il y a tout d'abord observation de certaines perceptions fournies par l'appareil, puis interprétation. Cette confusion entre les deux moment existe jusque dans le fait qu'il n'existe pas de trace du premier dans les compte rendus expérimentaux, et qu'on peut se demander si l'expérimentateur en a même conscience.

5 Des hypothèses

Selon Bunge (2001), « *les hypothèses sont des propositions générales vérifiables* ». Ce sont des points de départ pour des enchaînements rationnels déductifs dont les derniers maillons - les plus proches des sens, dans le cas de la science factuelle - doivent passer l'épreuve de l'expérience. Ainsi, parce qu'elles sont générales, les hypothèses ne peuvent être confirmées que par la vérification de leurs conséquences particulières, de leurs déclinaisons opératoires singulières. Les hypothèses scientifiques constituent aussi des nœuds aux extrémités de chaînes d'inférences (analogiques ou inductives) plus ou moins obscures.

On convient, en outre, habituellement, d'appeler « hypothèses » non seulement les conjectures, mais aussi les présupposés raisonnablement confirmés ou établis, car il n'y a probablement pas d'énoncés factuels généraux parfaits. L'expérience a suggéré l'adoption de cette acception du mot « hypothèse ».

Cette définition de ce qu'est une hypothèse scientifique est ainsi en étroite relation avec les questions de véracité et de vérifiabilité en science et laisse donc supposer qu'il y a des propositions vérifiables et celles qui ne le sont pas. Nous proposons de préciser dans ce qui suit les éléments relatifs des deux questions suivantes :

- quelles sont parmi les propositions ou affirmations celles qui sont vérifiables ?
- comment les met-on à l'épreuve et dans quelles conditions peut-on dire qu'elles ont été vérifiées ?

Nous utiliserons dans la suite les termes « énoncé », « proposition » et « affirmation » de manière indistincte.

Bunge (2001) distingue deux types de propositions non vérifiables et quatre vérifiables. Ces dernières constituent l'essentiel de notre préoccupation :

- les propositions nominales, qui ne peuvent être ni vraies ni fausses et celles relatives aux phénomènes surnaturels sont non vérifiables ;
- sont en revanche vérifiables :
    - Les énoncés singuliers (« ce morceau de fer est chaud »),
    - les énoncés particuliers ou existentiels (« quelques morceaux de fer sont chauds »),
    - les propositions universelles (« tous les morceaux de fer sont chauds »),
    - les énoncés de loi (« tous les métaux chauffés se dilatent »).

Les énoncés singuliers et particuliers sont vérifiables souvent de manière immédiate, uniquement à l'aide des sens ou, éventuellement, d'instruments qui amplifient leur portée ; mais dans d'autres occasions, ils exigent des opérations complexes impliquant l'énonciation

de lois et des calculs mathématiques, comme c'est le cas pour « la distance moyenne entre la Terre et le Soleil est de 150 millions de kilomètres ».

Est qualifié ainsi d'hypothèse scientifique :

- tout énoncé qui possède un degré de généralité « suffisant »
- une proposition particulière ou générale qui ne peut être vérifiée que de manière indirecte, à travers l'examen de l'une de ses conséquences

Considérons par exemple la loi de la gravitation de Newton qui a été confirmée dans presque tous les cas avec une précision étonnante. Nous avons deux raisons pour l'appeler « hypothèse » : la première est qu'elle n'a passé l'épreuve de l'expérience (avec succès) qu'un nombre fini de fois; deuxièmement, nous avons fini par savoir que même ce célèbre énoncé de loi est seulement une première approche d'un énoncé plus exact contenu dans la théorie générale de la relativité, qui probablement n'est pas non plus définitive.

Il est convenu qu'un énoncé factuel général susceptible de vérification peut être appelé « hypothèse ». Ce mot a des connotations plus respectables que « pressentiment », « soupçon », « conjecture », « supposition » ou « présomption », et est aussi plus adapté que ces termes, puisque l'étymologie du mot « hypothèse » renvoie à un point de départ.

On admet à présent que le noyau de toute théorie scientifique est un ensemble d'hypothèses vérifiables.

6 A propos des modèles et de la modélisation

Les sciences empiriques, et a fortiori la physique en tant qu'archétype de ces sciences, sont caractérisées par leur recours systématique à l'élaboration et à l'utilisation de modèles. La notion de modèle et l'activité de modélisation sont continuellement présents dans la pratique scientifique et les discours des chercheurs, parce que « *connaître une situation, c'est la représenter par un modèle* » (Halbwachs, 1974, cité par Robardet & Guillaud, 1997,

p. 72), et par conséquent dans les études épistémologiques.

Définir les contours de ce que sont les modèles et quelle est leur place dans le fonctionnement de la science normale n'est pas aisé, tant ce terme recouvre une grande polysémie, et ceci bien que « *la littérature épistémologique sur les modèles, la simulation, les systèmes soit abondante* » (Martinand, 1992) et alimentée par des approches diverses, notamment par la sociologie, l'économie (Le Moigne, 1987), la psychologie cognitive (Vergnaud).

Ne serait-ce que dans le cadre des études épistémologiques qui portent sur la physique, telles que nous les avons délimitées précédemment, la notion de modèle renvoie à des constructions de natures diverses qui s'étendent de la représentation figurative à celles de la mise en relation de concepts d'un haut degré d'abstraction. Nous avons affaire à un « *spectre très large de significations qui de plus n'offrent pas de types réellement distincts : elles vont des formalismes mathématiques aux « maquettes » et « moulages », de l'interprétation d'une théorie dans une autre au montage mécanique visualisable* (Bachelard, 1979). On rencontre par exemple en physique des modèles « mécaniques » (modèle cinétique des gaz) et en chimie des modèles structuraux de molécules, mais aussi dans les deux domaines des modèles mathématiques qui permettent, entre autres, d'élaborer des simulateurs informatiques. *« Mais il persiste à chaque niveau de signification une équivoque entre l'original ou la copie, l'archétype et une simple réalisation, la norme (comme le recours à la science mécanique chez Mach) et la figuration, le théorique et l'ostensif* » (ibid.)

Nous devons donc préciser pour notre recherche ce que nous retenons de la notion de « modèle » et de la modélisation à travers leurs caractéristiques et leurs fonctions dans l'activité scientifique.

6.1 Nature, caractéristiques, types et fonctions du modèle

Le modèle est un « *instrument théorique fonctionnel* » (Robardet & Guillaud, 1997, p. 71), un intermédiaire de nature théorique auquel nous déléguons la fonction de connaissance, mais

à l'échelle *locale* (ibid.), d'intelligibilité d'un réel dont la complexité des propriétés n'est pas entièrement comprise par la science, une « *réduction de l'encore-énigmatique* » (Bachelard, 1979), un « *cadre représentatif, idéalisé et ouvert, reconnu comme approximatif et schématique mais jugé fécond par rapport à un but donné (prévoir, agir sur la nature, la connaître mieux, etc.)* » (Soler, 2000, p. 45-46). Halbwachs (cité par Robardet & Guillaud, ibid.) attribue le nom de signe à des « *systèmes de signes* [construits au niveau théorique], *consistant dans des figures, des graphiques, des symboles mathématiques ou plus simplement des propositions formées avec des mots, systèmes qui sont alors censés représenter la situation* ».

Nous proposons dans ce qui suit de développer ces différents aspects de ce qu'est un modèle et à quoi il sert, et notamment que le modèle appartient au monde (de la) physique, qu'il sert à « montrer », mais aussi à expliquer et à prédire et à ce titre possède parfois le statut d'archétype ; qu'il doit être pertinent à son objet et pour ce faire, procède d'une simplification du réel ; enfin qu'il est doté d'une cohérence interne et externe.

6.2 Le modèle appartient au monde (de la) physique

Halbwachs (1969) part du constat que le XX^{ème} siècle est l'époque d'un consensus autour de la conception qui « affirme franchement une irréductible différence de nature entre les concepts de la théorie physique et les objets de la réalité physique ». Halbwachs s'appuie sur ce que Planck (1941), un des fondateurs de la physique des quanta, définit comme l'essentiel de ce qui constitue la notion de modèle : il y a le monde réel, monde d'objets existants où les transformations physiques « arrivent » effectivement, le monde sensible, fait d'images perçues qui se succèdent avec des régularités légales, et où se situent en particulier les expériences et les mesures de laboratoire, et enfin le monde « physique » (dans le sens d'un monde « de la physique ») qui est un monde de concepts pensés, dans lequel fonctionnent les relations mathématiques construites par la science physique. Le modèle relève entièrement du domaine de la théorie (Halbwachs, 1969), est le produit d'une construction théorique, comprenant des notions de base définies les unes par rapport aux autres, au

moyen d'énoncés (notamment des lois) qui introduisent entre elles des rapports, en vue de constituer une représentation d'une situation « cible » (Joshua & Dupin, 1993). Ce concept de modèle, qualifié de « théorique » (Halbwachs, 1969), conçu comme rapport d'une approche théorisante à la réalité est le concept de base requis par toute branche de la science empirique « parvenue à un statut d'exactitude » (ibid.)

6.3 Le modèle est « modèle d'une situation physique »

Les modèles mettent toujours « en relation », dans le sens où ils renvoient à autre chose qu'eux-mêmes, ne sont rien d'autre que leur fonction, ne sont jamais des objet pris pour soi indépendamment du cadre théorique auquel ils sont associés et des faits et des objets auxquels ils renvoient ; les modèles du rayon lumineux, de l'atome, du pendule simple ou du gaz parfait : les scénarios virtuels déployés à partir des modèles en y intégrant des conditions initiales doivent pouvoir être d'une manière ou d'une autre confrontées à des situations empiriques mettant en jeu des propriétés directement observables. La mise à l'épreuve des faits exige de trouver dans la nature des conditions d'observation, ou de produire artificiellement en laboratoire des conditions d'expérience adéquates. Halbwachs (1974) appelle « situation physique » ce auquel renvoie le modèle, c'est-à-dire une réalité locale parfaitement circonscrite dans le domaine du réel, qui a donc en quelque sorte été extraite du réel par des considérations théoriques. Il s'agit ainsi d'une réalité reconstruite, pré-modélisée.

6.4 Le modèle est figuratif ou abstrait, et sert à montrer

Les modèles ont toujours un caractère ostensif, par le fait même qu'ils peuvent être exhibés. Ils sont figuratifs ou abstraits :

- Les modèles « figuratifs » par similitude ou par analogie sont la réalisation concrète d'un phénomène dont les mesures fournissent les résultats concernant un phénomène à une autre échelle ou d'une autre nature. Ces « modèles physiques (ou maquettes) »

(Walliser, 1977) traduisent la situation sous forme de phénomènes concrets, homothétiques (modèles réduits), ou analogiques (modèles analogiques). La correspondance entre le réel et ce qu'il vise à représenter est dans ce cas de type photographique. Duhem par exemple ne retient de l'activité de modélisation que le caractère figuratif des modèles mécaniques. Le modèle a ici la fonction d'image visible et palpable des lois abstraites, représentation d'objets non perceptibles, de matérialisation des énoncés scientifiques dans un objet concret que l'esprit peut saisir aisément.

- Les modèles théoriques « abstraits » sont constitués par la représentation d'une théorie dans une autre. Dans ce cas, les éléments constitutifs du modèle (entités et relations) ne renvoient pas tous forcément à des aspects directement observables du réel. Les modèles théoriques établissent des analogies de structure (des corrélations fonctionnelles) mais ne donnent lieu à aucune similitude picturale entre les phénomènes observables étudiés et les éléments théoriques du modèle. Leur force réside dans le fait que la transcription de la réalité est contrôlée par la pensée logique. Halbwachs (1969) distingue dans cette catégorie, les modèles analogiques et les modèles symboliques : les premiers utilisent des modèles connus pour expliquer l'inconnu, comme l'ont fait les modèles mécaniques et hydrodynamiques dans l'interprétation de la nature de la lumière ou du champ magnétique. Les seconds traduisent la situation physique dans un langage plus ou moins abstrait qui peut être défini comme un système cohérent et structuré de notions reliées entre elles pas un ensemble de règles d'organisation appelées « règles syntaxiques » telles que les lois, ou les courbes, les diagrammes, les constructions géométriques, les équations, etc. On compte parmi ces derniers le langage littéraire, le langage iconique et le langage incono-mathématique. Mais eux aussi donnent à voir, dans le sens où ils sont toujours des exhibitions.

Ainsi, dans son acception la plus abstraite, le modèle fonctionne d'une manière ostensive et le modèle dans son acception la plus concrète de modèle visualisable, laisse transparaître la dominante théorique, comme le font les dispositifs pédagogiques qui servent à montrer des

modèles, ce que Joshua & Dupin (2003) qualifient de dispositifs de « monstration ». Ainsi, le modèle qui donne à voir ne donne à voir qu'à l'initié qui connaît le support conceptuel qui justifie ce modèle. On peut dire finalement qu'il n'y a pas de modèle figuratif de la réalité, mais il est figuratif d'une perception de cette réalité. Selon Bachelard (1979), les moniteurs d'ordinateur ou « consoles de visualisation » qui donnent à voir un « réel calculé », constituent un exemple frappant qui « illustre » le caractère concret-abstrait de la modélisation.

Les trois figures ci-dessous sont un exemple de modèle figuratif utilisé dans l'enseignement de la physique au lycée pour « montrer » la propagation de la lumière lors de la traversée d'un dioptre séparant deux milieux dans lesquels la lumière se propage à des vitesses différentes, en utilisant le modèle de changement de direction d'un rayon lumineux. On notera la correspondance photographique entre le modèle théorique visé (fig.3) et le phénomène qui le figure dans le réel (fig.4) ou dans le monde concret-abstrait d'un simulateur informatique (fig.5).

Fig. 3

air

dioptre

plexiglas

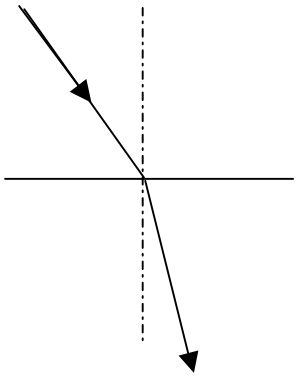
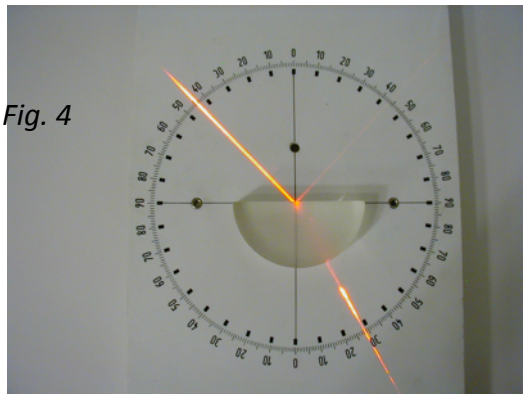
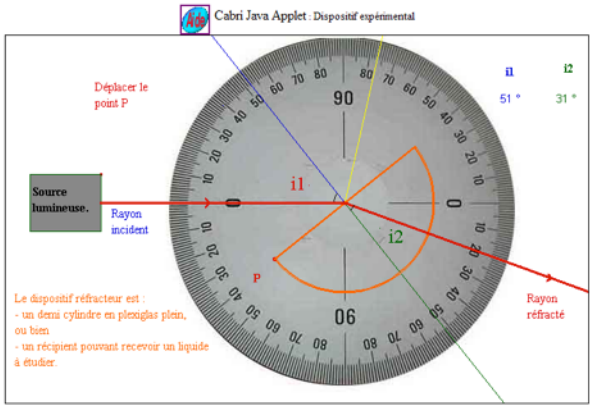


Fig. 4





6.5 Le modèle sert à expliquer ou interpréter

Si le modèle est du domaine de la théorie, sa scientificité tient notamment à ce qu'il est explicatif, tout comme les théories, mais sur certaines parties limitées du monde réel. Selon Joshua et Dupin (2003), qui s'appuient sur les travaux de Halbwachs (1969), la structure causale associée à la fonction explicative du modèle peut être de trois types : hétérogène, homogène et bathygène.

La causalité simple ou causalité hétérogène relie d'une manière linéaire une cause à un effet. Ce genre de modèle décrit un « pourquoi » d'une classe de phénomènes. La causalité externe à un système explique son comportement. La raison d'être des changements qui s'opèrent à l'intérieur du système doit être cherché à l'extérieur de celui-ci, dans les changements d'un autre système, ou plus généralement du monde extérieur. Pourquoi l'objet tombe-t-il ? Parce qu'une force s'exerce sur lui.

Une causalité homogène ou formelle décrit le « comment » interne d'une classe de phénomènes. Dans ce cas il est impossible de distinguer la cause de l'effet : c'est le cas des grands principes de conservation ou de symétrie qui sont opératoires et non plus causaux. La

lumière se réfracte à la traversée d'un dioptre qui sépare deux milieux transparents, homogènes et isotropes parce que la célérité de la lumière varie instantanément d'un milieu à l'autre. Une loi scientifique (par exemple de la loi de la réfraction de la lumière) est ici une conséquence d'une loi plus générale qui l'englobe, lui donne du sens, l'explique (la propagation des ondes électromagnétiques dans les milieux matériels, ou le principe de Fermat).

La causalité bathygène implique un changement de niveau où, en général, un mécanisme sous-jacent, la plupart du temps invisible, qui rend compte « causalement » des phénomènes considérés. Le niveau microscopique pour le niveau macroscopique en physique par exemple, le niveau génétique pour le niveau cellulaire en biologie, etc. Le monde de la science se peuple ainsi d'une multitude d'entités de plus en plus lointaines de l'expérience sensible. Sans que nul puisse affirmer que leur postérité sera plus durable que les petites balles bondissantes et dures de Descartes, les vibrations de l'éther lumineux ou les tourbillons de Maxwell. Et pourtant le pouvoir explicatif lié à certaines au moins de ces entités postulées est tout à fait considérable, puisque le processus de recherche d'une causalité bathygène constitue un autre puissant moteur de l'activité scientifique jusqu'à nos jours.

6.6 Le modèle sert à prédire

L'avancée décisive de la science se produit si un modèle nouveau conduit à la production (ou à l'interprétation) de phénomènes nouveaux. Pour certaines sciences, comme la physique, cela se traduit par l'exigence qu'un modèle soit prédictif, c'est-à-dire qu'il prédise, à partir des calculs théoriques, l'existence de phénomènes et fournisse des valeurs probables, correspondantes (ou non) aux valeurs mesurées expérimentalement.

6.7 Le modèle vérifie le principe du tiers exclus

Que le modèle soit qualitatif ou quantitatif, il est possible, grâce à sa nature théorique,

d'inférer à partir de ses relations de base. Ces inférences constituent un moyen d'explorer au moyen de la logique -voire des mathématiques pour les modèles calculables (propriétés géométriques, algébriques, …)- des caractéristiques intrinsèques au modèle. Le modèle doit vérifier à ce titre une règle de « cohérence interne » (Joshua & Dupin, 2003), celle du tiers exclus : une proposition est ainsi vraie ou fausse, pas les deux à la fois. Cette règle est indispensable dans un modèle calculable, puisque seule elle permet de prétendre énoncer un résultat du calcul, même si, le cas échéant, ce résultat n'est pas sous forme mathématique. Un objet, défini en termes de grandeurs et de relations entre grandeurs, permet au modèle de fonctionner au moins sur la base du tiers exclus. Mais la cohérence interne est renforcée quand une démonstration mathématique vient la soutenir et assurer l'universalité des conclusions énoncées, et c'est ce qui fait la force des sciences physiques dans le domaine des sciences empiriques.

6.8 Modèle archétypique et cohérence externe

Dans l'évolution des connaissances scientifiques, le modèle remplit aussi une fonction métathéorique, d' « archétype » : à l'image de la science mécanique qui apparaît comme le réservoir de modèles de tous les types (mécanique rationnelle ou montage mécanique), comme référence à laquelle on revient pour cautionner toute innovation, le modèle a une fonction métathéorique de justification. Les théories naissantes reçoivent ainsi leur garantie de consistance quand on peut exhiber des modèles appartenant à ces théories dans la théorie archétypique, c'est-à-dire la théorie connue la plus aboutie. Ainsi le modèle nouveau est soumis à une contrainte de « *cohérence externe* » (Joshua & Dupin, 2003). Un modèle ne peut être considéré comme valide s'il est en contradiction avec le reste de la théorie qui a déjà acquis ses galons. La charge de la preuve d'une compatibilité revient au modèle nouveau. Par exemple, le modèle de l'atome d'hydrogène dans la théorie quantique utilise le modèle des modes propres d'une fonction d'onde de probabilité totalement déterminée analytiquement dans la théorie des ondes qui précède la théorie quantique. Il peut y avoir plusieurs modèles concurrents pour un seul problème et ces modèles peuvent même être

contradictoires entre eux, mais chacun pour leur compte doivent répondre de la cohérence externe avec le reste de la science constituée.

6.9 L'activité de modélisation en physique

6.9.1 Simplification du réel et enrichissement théorique

Pour qu'un modèle puisse être « pertinent à son objet » (Joshua & Dupin, 2003) la modélisation fonctionne par limitation et c'est ce qui en fait sa puissance et ses limites. Le modèle résulte d'une simplification, d'une abstraction par rapport au réel : il ne représente pas « le » réel mais seulement certaines de ses propriétés. La modélisation procède de la sélection de certains aspects du réel, du découpage dans l'extrême complexité du réel des aspects très limités qu'elle saura traiter, autrement dit des données de l'expérience ou de l'observation directe ou instrumentée des phénomènes ; elle sépare ainsi le pertinent du non pertinent par rapport à la problématique considérée. Il est ainsi nécessaire de construire son objet d'étude, lequel est inévitablement artificiel, mais ne dit rien quant à la taille de l'objet lui-même (ibid.). Un objet peut être trop petit ou trop gros. L'activité de réduction est cruciale et conditionne la pertinence du modèle produit. L'estimation de la pertinence des facteurs pouvant influer sur un phénomène est un choix du scientifique qui procède à la réduction. Les physiciens utilisent souvent les expressions telles que « on assimile l'objet d'étude à », « on considère que », « on néglige tel paramètre »… Cette simplification est délibérée car les scientifiques savent que les modèles ne peuvent prétendre être à tous égards conformes aux processus réels étudiés. Les ingrédients du modèle sont en ce sens des constructions de l'esprit et sont donc éminemment d'ordre théorique. Cette capacité à limiter l'espace d'étude introduit des ruptures radicales avec les autres formes de production des connaissances, passées ou contemporaines. Elle paraît la condition majeure de l'existence des sciences au sens moderne, et de son efficacité sans commune mesure avec les autres approches. La capacité explicative et prédictive du modèle est limitée par conséquent aux ordres de phénomènes qu'il aborde. Il en est ainsi en droit pour les concepts

et les relations qui le structurent.

Cette démarche implique par conséquent l'éventualité de renoncer à pouvoir embrasser d'un seul coup la totalité du phénomène et d'accepter une pluralité de points de vue variés sur le même objet. En revanche, ne considérer que les paramètres caractéristiques de certains aspects particuliers du réel par la précision d'hypothèses simplificatrices est ce qui permet de mettre en jeu une mathématisation du modèle. Les modèles mathématisés procèdent de la réduction de la diversité des possibles, liée à l'invariance des phénomènes : un petit nombre de moules analytiques est susceptible de représenter une diversité des phénomènes ; par exemple, les phénomènes statiques sont représentés par des équations de types elliptiques, les phénomènes ondulatoires par des équations de types hyperboliques, les phénomènes de diffusion par des équations de type parabolique (Bachelard, 1979).

La masse est par exemple un concept caractéristique d'objets très différents (objets ou vivants), et le modèle ne prend en compte que cette caractéristique. Ceci revient à souligner que le modèle n'est pas une copie de la réalité dans toute sa complexité, mais une représentation schématique de l'objet d'étude, pouvant être commune à toute une diversité.

Mais comme nous l'avons vu précédemment le modèle constitué comporte des caractéristiques intrinsèques, notamment mathématiques, qui lui sont propres et qui n'ont pas a priori de correspondants dans le réel examiné. En déployant toutes les conséquences des conditions initiales dans le modèle constitué, en examinant comment s'agencent et interagissent les éléments du modèle, sont mis en marche des scénarios de comportement pour les objets virtuels construits. Le modèle ainsi constitué est un objet-substitut du réel, mais il est aussi à la fois un objet original pris en soi, fonctionne selon ses propres lois, mathématiques notamment.

La modélisation procède ainsi à la fois par un appauvrissement abstractif délibéré par rapport à la réalité et par un enrichissement non immédiatement déterminable. Maxwell, en

travaillant dans les années 1860 sur l'établissement des équations de couplage des champs électrique et magnétique n'avait pas l'intention de modéliser la propagation des ondes électromagnétiques dont l'équation en dérivera directement. Nous attribuons ainsi au modèle une structure plus profonde qu'à ce dont il est le modèle.

6.9.2 Limite de validité et évolution des modèles

La réalité à laquelle appartient une situation, et dont on l'abstrait en choisissant un nombre limité de facteurs définissant un état, est en fait inépuisable. Ceci constitue une différence profonde entre le modèle et la situation, malgré le morphisme identifiable entre eux. Quand on agit sur une situation, nous avons affaire à cette réalité. Quand, pour les conditions en question, les résultats de mesures s'avèrent suffisamment conformes aux prédictions du modèle, ce dernier est jugé fécond. Mais le modèle ne fournit jamais une représentation exacte et complète de la situation. Tôt ou tard apparaissent des divergences, soit lorsqu'on atteint une précision plus élevée dans les opérations expérimentales, soit lorsqu'on étend la situation à des phénomènes nouveaux, connexes aux anciens. Lorsque ces divergences apparaissent, il devient nécessaire de développer, raffiner et complexifier le schéma de base en vue de se rapprocher du cas réel, voire de construire un nouveau modèle plus large, englobant le modèle précédent, et rendant compte de son adéquation relative à la situation, mais représentant également les phénomènes aberrants pour le modèle précédent. La théorie physique apparaîtra ainsi comme constituée par un système de modèles « emboîtés ». Du reste, il est fréquent qu'un modèle « supérieur » englobe, non un, mais plusieurs modèles inférieurs. Ce rapport d'« adéquation » approximative entre le modèle et la situation qu'il représente, est un rapport en transformation perpétuelle, jamais exact, jamais définitif, mais en progrès constant à mesure que la science se développe. Toutes les fois que l'évolution des connaissances scientifiques passe par une révolution, les modèles contestés sont toujours récupérés, réinterprétés et englobés dans le modèle « supérieur » à titre de cas particulier ou de cas limite, et sont à cet égard non pas détruits mais conservés, et demeurent expliqués par cette insertion dans un cadre plus général et dans une structure plus profonde.

6.9.3 Recherche d'analogies

Pour Duhem (1906), la recherche d'analogies entre deux catégories distinctes de phénomènes a été le procédé le plus sûr et le plus fécond pour construire des théories physiques. Pour Maxwell, l'analogie physique est cette ressemblance partielle entre les lois d'une science et les lois d'une autre science qui fait que l'une des deux sciences peut servir à illustrer l'autre, mais illustrer n'est pas figurer, dans le sens où une théorie « éclaire » cette autre théorie, la « clarifie », la fait « voir » sous un jour nouveau. « La justesse d'une illustration scientifique vient de ce que les deux systèmes d'idées qui sont comparés l'un avec l'autre sont réellement analogues par la forme, ou, en d'autres termes, vient de ce que les quantités physiques correspondantes appartiennent réellement à la même classe mathématique. Bachelard (1979) considère, contrairement à Duhem, que l'analogie scientifique est une activité de modélisation. Analogie et modélisation sont deux concepts connexes, l'un est le support de l'autre. L'analogie est le concept de base qui fonde la production du modèle. Historiquement, l'analogie doit son succès à la découverte au XIXème de la polyvalence des théories, au-delà de simples coïncidences occasionnelles : une identité analytique, identité d'équation différentielle et aux dérivées partielles, régissent des domaines physiques différents.

Mais cet exercice qui passe par la recherche d'analogies présente une dimension réductrice, en risquant de limiter les idées nouvelles à celles qui sont conformes à cette norme, comme l'a été l'influence de la science mécanique sur les modèles au XIXème siècle. Bachelard (1979) fait référence à « La Mécanique » de Mach (1883)[34] en tant que critique de ce procédé, en raison notamment qu' « *il est impossible de savoir quels sont les phénomènes physiques qui pénètrent le plus au fond des choses, ou de savoir si le phénomène mécanique*

[34] La mécanique. Exposé historique et critique de son développement, traduit de *Die Mechanik in ihrer Entwicklung. Historish-kritisch dargestellt*, 1883

n'est pas précisément le plus superficiel de tous, ou si tous ne sont pas d'une égale profondeur de pénétration ».

7 Théorie et modèle

7.1 Différences et similitudes

Selon Bachelard (1979), reprenant une critique de Duhem sur l'usage des modèles, une des difficultés principales de la constitution d'une théorie de manière générale, réside dans l'usage local et anarchique du modèle, et dans le passage du local au global, d' « *un champ limité par un choix de propriétés à un champ global synthétique qui permettrait de dénouer la complexité des apparences* ».

Même si on a affaire à une représentation « *délibérément schématique* » (Soler, 2000) de l'objet d'étude, qui ne prend pas en compte toute la complexité supposée du réel, le modèle se situe d'emblée dans un langage formel identique à celui de la théorie (Walliser, Martinand). Cette similitude de forme et de rapport au réel entre le modèle et la théorie les rendent difficiles à distinguer du point de vue de leur rôle dans le fonctionnement de la physique. Cependant, ces deux notions peuvent être différenciées sur les points suivants :

- Bien que la qualité de modèle est attribuée à une « structure théorique » qui a les mêmes aspects qu'une théorie en matière de syntaxe, de logique et de symboles, on n'attend pas les mêmes critères de vérité que ceux décrits précédemment pour les théories, que ce soit en matière de vérité-correspondance, vérité-cohérence ou vérité-consensus. Selon Bunge (2001), « un énoncé est considéré comme vrai s'il s'accorde à son objet : c'est ce qui fait l'identité entre science factuelle et empirique. Alors que les théories sont facilement assimilées à des descriptions littérales de l'objet d'étude soumises à un principe interne de non-contradiction, les modèles sont, par définition, considérés comme des fictions utiles ou des outils efficaces. Ainsi il n'y a pas de modèle vrai ou faux, il y a seulement des modèles qui décrivent de

manière plus ou moins détaillée des éléments observables du réel.

Soler (2000) précise deux autres critères de différenciation :

- Les théories sont plus générales que les modèles dans le sens où elles interviennent à un niveau supérieur plus englobant. « *Le caractère local de la réalité étudiée* [est] *ce qui distingue fondamentalement le modèle d'une théorie* » (Robardet & Guillaud, 1997, p. 72). Le vocable « théorie » est réservé à un ensemble « régional » du savoir relativement vaste. Il s'agit donc d'une famille de modèles, mais plus qu'une simple somme de modèles, puisque ces derniers y sont reliés par des relations logiques et expérimentales qui assurent une certaine cohérence à l'ensemble.
- Les théories font usage des modèles dans la mesure où elles en exploitent les possibilités dans une certaine direction, les ancrent dans des systèmes propres de concepts qui infléchissent quelque peu leur sens et les précisent. On parlera ainsi du « modèle du rayon lumineux » comme composante nécessaire à la description et à la compréhension de la propagation de la lumière dans le cadre de la « théorie ondulatoire de la lumière », qui inclut le modèle précédent dans tous les cas où l'on effectue l'approximation selon laquelle il n'y a pas lieu de tenir compte des effets de diffraction.
- Dans la pratique scientifique, il arrive que des théories différentes exploitent le même modèle de manière différente et aboutissent à des affirmations différentes sur le monde. A l'inverse, une même théorie, comme la théorie quantique, peut s'appuyer sur deux modèles distincts, voire incompatibles entre eux, que sont en l'occurrence les modèles ondulatoires et corpusculaires de la lumière.

7.2 Fonctionnement du modèle dans la théorie

7.2.1 Fonctionnement à l'intérieur de la théorie

La physique est une théorie en tant que telle, et opère sur des systèmes de notions

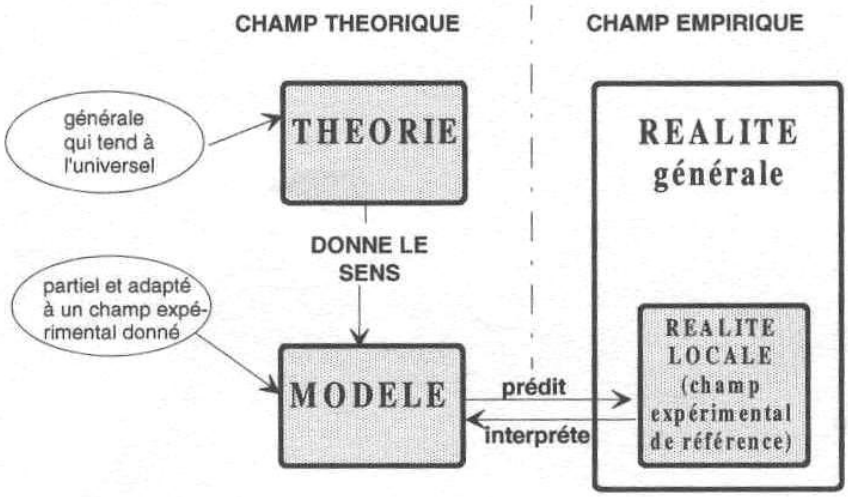
abstraites appelées « modèles théoriques », liées par des propositions. Cela n'est possible que si les notions sont définies par une axiomatique, c'est-à-dire sont déterminées par les relations que nous introduisons entre elles, sans aucune référence à des notions extérieures au système d'axiomes (sinon à d'autres systèmes déjà axiomatisés). Un tel système est de même nature qu'une théorie mathématique. Il entraîne le même degré de rigueur et de certitude, il ne contient rien d'autre que ce que nous avons explicitement posé dans les axiomes. En particulier, la signification intrinsèque des concepts et la vérité des propositions ne dépend en rien de l'expérience.

7.2.2 Fonctionnement en rapport à la situation réelle

Un tel modèle théorique est construit de façon à pouvoir être mis en correspondance avec une situation physique, c'est-à-dire un certain ensemble d'objets réels sur lesquels nous savons opérer « avec nos mains » des transformations « expérimentales » déterminées. Dans la mesure où il existe un morphisme entre le système de transformations théoriques du modèle et le système de transformations expérimentales que nous opérons sur la situation, le physicien est fondé à dire que son modèle est le modèle de la situation, ou encore qu'il représente la situation. Il nous permet, en utilisant ce morphisme, d'appliquer la théorie à la situation pour la manipuler et la transformer suivant une finalité déterminée.

Les travaux sur la démarche de modélisation, de catégorisation des modèles et de leurs relations avec le réel (Halbwachs, 1969 ; Walliser ; 1977) sont repris dans le schéma de synthèse suivant proposé par Robardet & Guillaud (1997) :

Fig. 6



A l'issue de ce paragraphe sur les notions de modèle et de modélisation qui clôt un ensemble dédié aux caractéristiques des concepts épistémologiques, nous proposons de discuter de la manière dont ces concepts sont associés dans l'activité scientifique dans un schéma d'élaboration des connaissances scientifiques.

8 Modèles d'élaboration des connaissances scientifiques

Il semble difficile de modéliser finement les processus qui caractérisent l'activité scientifique et conduisent à l'élaboration des connaissances en physique sans croiser le discours sur la « méthode », fréquent dans l'évolution de la pensée philosophique occidentale. Depuis la connaissance causale chez Aristote au falsificationnisme de Popper, il est jalonné par cette question fondamentale de savoir si il existe « *un ensemble de règles fixes et universelles régissant l'ensemble de l'activité scientifique* » (Lecourt, 1999). A partir du moment où l'activité scientifique contient des dimensions individuelles et collectives, à la fois en prise avec les exigences internes à la physique et plus largement culturelles et idéologiques, la réponse est négative pour ce qui concerne l'entreprise scientifique dans son ensemble, dans le sens où il n'existe pas de mécanisme s'appuyant sur de la logique qui pourrait régir ou au moins rendre compte de la fonction créative nécessaire en science.

Ainsi, si réflexion méthodologique il y a, cela concerne le « contexte de justification » : « *en ce sens, la méthode concerne l'analyse de la relation entre une théorie donnée en l'ensemble des faits qu'elle prétend expliquer ; elle concerne la justification ou la corroboration des théories par les faits* » (Lecourt, 1999).

Dans cette perspective, la description des processus d'élaboration des connaissances utilise les concepts épistémologiques rencontrés jusqu'ici, et conjugue le fonctionnement de la connaissance rationnelle qui préside à la construction des propositions théoriques et la vérifiabilité de ces propositions par l'expérimentation. Dans cette dialectique sont contenus, selon Bunge (2001), les deux traits essentiels et intimement liés de la physique que sont la rationalité et l'objectivité[35], jouant le rôle de normes pour l'activité scientifique qui doit passer par :

- Elaborer des énoncés théoriques en relation avec des énoncés factuels
- Soumettre les énoncés à des vérifications empiriques
- Soumettre les nouveaux faits à l'ensemble des propositions reconnues comme vraies
- Rechercher de manière systématique la précision conceptuelle, méthodologique et métrologique.
- Prédire, expliquer, vérifier, faire évoluer.

Ceci pose un cadre sans toutefois préciser davantage la manière dont s'articulent les concepts épistémologiques. Koyré (1985) soutient une approche platonicienne, en donnant ainsi la primauté de la théorie sur les faits : « *la théorie précède le fait. L'expérience est inutile parce qu'avant toute expérience, nous possédons déjà la connaissance que nous cherchons* ». A l'issue de ses travaux sur Galilée, il pense que « *les lois fondamentales du mouvement (et du repos), lois qui déterminent le comportement spatiotemporel des corps*

[35] Selon l'auteur, cela est vrai des sciences de la nature et de la société, donc des sciences factuelles en général.

matériels, sont des lois de nature mathématique. De la même nature que celles qui gouvernent les relations et les lois des figures et des nombres. Nous les trouvons et les découvrons non pas dans la nature, mais en nous-mêmes, dans notre esprit, dans notre mémoire, comme Platon nous l'a enseigné autrefois ». Même si, comme le soutient Feyerabend (1979), la séparation entre faits et théories n'est plus aussi nette qu'il y paraît : « *Finalement nous avons appris qu'apprendre n'est pas aller de l'observation à la théorie, mais comporte toujours les deux éléments. L'expérience surgit en même temps que les suppositions théoriques, et non avant elles ; et une expérience sans théorie est tout aussi incompréhensible qu'une théorie sans expérience* ». Il n'y a donc plus lieu de parler ni de « démarche scientifique » dans le sens traditionnel du terme, qui fonde la rationalité de la science sur des principes immuables, ni de méthodologie scientifique générale et anhistorique.

Les théories scientifiques sont en fin de compte le résultat de la construction ou de l'imagination d'un monde fictif dont les règles nous permettent de reproduire des faits qui appartiennent au monde réel : « *il n'y a pas d'un côté l'esprit et de l'autre les choses, mais détermination réciproque des choses par l'esprit* (la construction des objets) *et de l'esprit par les choses* (la formation de la connaissance) » (Morin & Brunet, 2000, p.71).

C'est l'interprétation théorique des observations qui a permis à l'expérimentation de mettre en jeu des instruments de plus en plus sophistiqués. Mais une expérimentation n'est significative que quand le chercheur pose à la nature une question pertinente. Entreprendre une expérimentation nécessite donc une idée préconçue des réponses que le montage expérimental peut apporter. Comme le précise Bachelard (1938), « *dès qu'on passe de l'observation à l'expérimentation, le caractère polémique de la connaissance devient plus net encore. Alors il faut que le phénomène soit trié, filtré, épuré, coulé dans le moule des instruments, produit sur le plan des instruments. Or les instruments ne sont que des théories matérialisées*. »

Nous avons précisé jusque là le sens que des travaux d'épistémologie que nous avons choisis nous permettent d'attribuer aux éléments constitutifs de ce champ qui nous semblent les plus importants au vu de notre recherche. Les notions d'hypothèse, de modèle, d'observation, d'expérimentation, de théorie, et les relations qu'elles entretiennent entre elles permettent ainsi de caractériser le discours sur la physique et les activités qui sont conduites.

Chapitre 7 : Méthodologie de recueil et d'analyse des données

Nous proposons dans cette partie d'expliciter notre démarche de recueil et d'analyse des données. Le corpus à analyser est issu d'observation de séances conduites par des enseignants que nous avons choisis selon qu'ils sont seuls ou accompagnés dans l'intention et la réalisation du projet d'enseigner de l'épistémologie. Notre méthode d'analyse est centrée sur l'identification des savoirs enseignés en classe et la caractérisation des pratiques des enseignants selon cet aspect. Elle repose sur l'étude des praxéologies via une reconstruction par l'analyse du savoir enseigné de l'épistémologie qui articule deux échelles d'analyse, inspirées de l'approche développée par Tiberghien et al. (2007) (dans le cadre différent de l'action conjointe en didactique) : une analyse à l'échelle mésoscopique portant sur les tâches épistémologiques et/ou physique travaillées dans la classe qui nous fournit un synopsis de la séance découpée en thèmes de l'épistémologie de la physique et nous permet d'accéder à la composante « praxis » des praxéologies, et une analyse à l'échelle microscopique des interactions en classe pour identifier les savoirs épistémologiques véhiculés dans les propos de l'enseignant (composante « logos » des praxéologies).

1 Choix du niveau d'enseignement

Le modèle d'imbrication des conceptions et de leurs relations à la pratique est issue d'études de cas et concerne l'enseignement au niveau de l'école primaire. Selon nous, le

modèle qui en résulte et sur lequel nous nous appuyons ne peut prétendre donner à coup sûr une représentation de ce qui se passe dans le secondaire, et cela a priori pour deux raisons qui se situent au niveau de la formation initiale des enseignants et à l'importance accordée à la place des savoirs disciplinaires à enseigner : les enseignants de sciences dans le secondaire en France ont dans la plupart des cas une formation disciplinaire plus importante que leurs collègues du primaire, mais c'est au niveau de ces derniers que la formation professionnelle accorde le primat aux démarches d'enseignement et d'apprentissage par rapport aux aspects conceptuels des savoirs à enseigner. On peut donc éventuellement s'attendre à ce dans le secondaire le modèle qui décrit les relations entre pensée et pratique d'enseignement diffère de celui sur lequel nous nous appuyons dans la mesure où les enseignants de sciences physiques sont davantage attachés à la « maîtrise » des savoirs à enseigner qu'à la manière de les enseigner où à la manière dont leurs élèves pourraient les apprendre.

Notre étude aurait pu porter tout aussi bien au niveau du collège que du lycée. Cependant, elle a été conduite au moment où l'enseignement des sciences au collège connaissait une vaste réforme visant à modifier en profondeur les pratiques d'enseignement par l'introduction de la « démarche d'investigation ». Il nous a semblé que cette injonction institutionnelle sur les pratiques d'enseignement pouvait réduire davantage la probabilité de trouver des enseignants de collège adaptés à notre étude. C'est pourquoi nous n'avons pas investi ces niveaux d'enseignement. Cela dit, les rapports complexes implicites qu'entretiennent la démarche d'investigation et l'épistémologie des sciences, du point de vue des théories de la connaissance et des théories de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences, ne manque pas d'intérêt pour le développement de cette recherche (Pélissier & Venturini, 2012).

2 Choix des 3 enseignants de l'étude

Pour les raisons que nous avons déjà évoquées, les enseignants de sciences physiques en lycée qui prennent l'initiative de transmettre des savoirs de l'épistémologie ne sont pas

légion. Pour cette raison, nous nous sommes engagés sur des études de cas. Les quatre enseignants sur lesquels portent notre étude sont tous titulaires de l'agrégation de sciences physiques et enseignent en lycée depuis plus de 10 ans. Nous présentons ce qui nous a servi de critère pour les choisir en relation avec nos questions de recherche.

2.1 L'enseignant A.

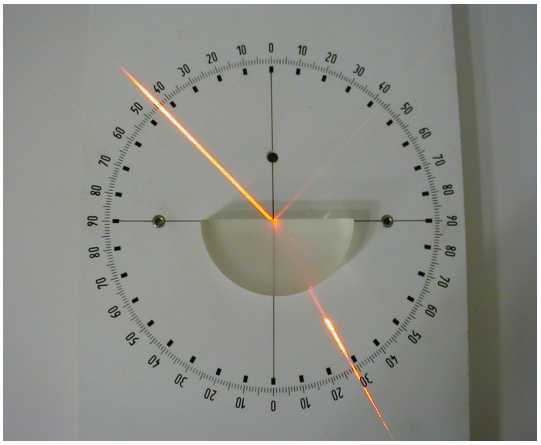
Cet enseignant, que nous nommerons A, collabore périodiquement à un groupe d'animation académique de « sciences physiques fondamentales et appliquées », dirigé et animé par des Inspecteurs Pédagogiques Régionaux (IPR) de la discipline. Ce groupe a pour objectif de travailler à la production d'outils pédagogiques et de ressources pour leurs collègues de l'académie, notamment en période de changement de programmes, répondant en cela à un cahier des charges qui émane du recteur de l'académie ou de l'Inspection Générale de l'Education Nationale. Il constitue aussi un vivier de formateurs que les IPR sollicitent pour animer des stages de formation continue des enseignants de sciences physiques de l'académie. Tous les enseignants du groupe adhèrent à l'idée de faire comprendre aux élèves la nature des savoirs et le fonctionnement de la physique. Cependant, l'épistémologie des savoirs de la physique et son importance dans l'enseignement n'ont jamais fait l'objet de séances de travail dans ce groupe, du moins depuis que A y participe.

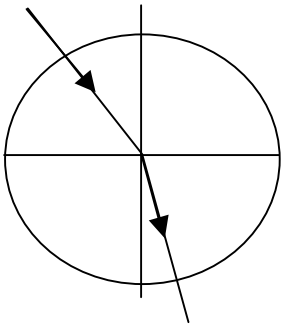
Nous avons repéré cet enseignant pour notre étude en raison de son attitude en réaction à un problème de nature épistémologique, révélant selon nous une préoccupation inhabituelle à ce sujet vis-à-vis du fonctionnement de la physique en classe, et pouvant faire l'objet d'une investigation féconde.

Invité à participer à une de ces journées au titre de formateur en IUFM, j'ai présenté un exposé visant à *soumettre un problème de nature épistémologique à la réflexion des enseignants du groupe.* [36]

Fig. 7 *Fig. 8*

Cet exposé fait état de l'utilisation courante dans l'enseignement de l'optique au lycée, notamment en classe de seconde, mais aussi aux épreuves d'admission au concours de recrutement des enseignants de Physique et Chimie (CAPES), d'un dispositif qualifié d' « expérimental » pour l'étude de la réfraction. Grâce à ce dispositif, les élèves doivent réaliser « aisément » des mesures d'angles dits « d'incidence » et de « réfraction » de la lumière lors de sa traversée d'un dioptre séparant l'air d'un milieu plus réfringent constitué de plexiglas (figure 7). Les élèves doivent dans la plupart des cas vérifier que les données obtenues sont corrélées à la seconde loi de Descartes relative à la réfraction de la lumière.





Ce dispositif n'est pas utilisé dans l'enseignement dans une perspective expérimentale au

[36] L'exposé complet présenté aux enseignants figure en annexe

sens épistémologique du terme, c'est-à-dire pour donner à voir un phénomène destiné à être expliqué avec des modèles de la physique, ni avec une visée de « *monstration* » (Joshua & Dupin, 2003)[37] qui constitue très souvent l'utilisation d'un dispositif en classe pour légitimer auprès des élèves le savoir à apprendre à travers des situations prototypiques. Il est utilisé pour « montrer » le savoir à apprendre, autrement dit que la lumière change de direction lorsqu'elle change de milieu de propagation, en faisant « observer » par les élèves ce changement de direction de la lumière.

Le problème épistémologique est que l'utilisation de ce dispositif « montre » aux élèves une identité entre un phénomène à observer (figure 7) et le modèle de la physique servant à l'expliquer (figure 8), représentant la propagation de la lumière sous forme de rayons lumineux. Il n'est pas surprenant que cette utilisation perdure car elle légitime et renforce aussi bien chez les élèves que chez les enseignants[38] ce que Viennot (1996) qualifie de « *tendance du raisonnement* » à « *matérialiser les objets de la physique* ».

Cette confusion implicite entre le « *monde des objets et des phénomènes et le monde des théories et des modèles* », pour reprendre la distinction de Tiberghien (1994) laisse penser que les modèles sont visibles[39], au même titre que ces traces de couleur orangée sur la figure 7 que l'on identifie à des rayons lumineux. Autrement dit, la figure 8 constitue un modèle utilisé pour expliquer une observation telle que celle de la figure 9, mais ne l'explique pas en soi : il faut pour cela qu'il puisse rendre compte le plus précisément possible de la spécificité de ce qui est observé. Ainsi, ce qui est visible sur la figure 7

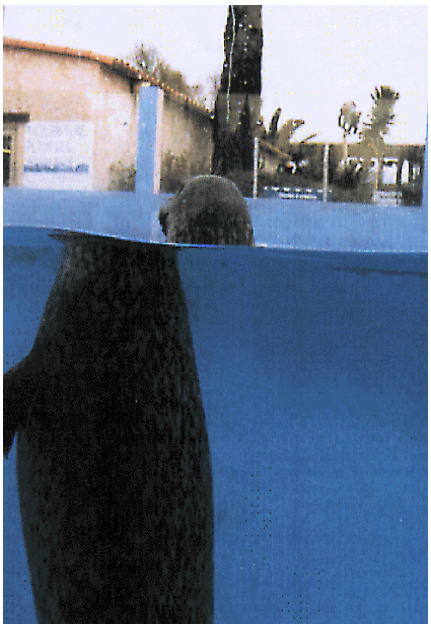
[37] Ce concept qualifie habituellement l'utilisation d'un dispositif qui sert à « montrer le savoir », autrement dit à légitimer les nouveaux concepts constituant le savoir à apprendre à partir d'un objet remarquable, une situation typique, exemplaire, « *prototypique* » (ibid.). Les expériences de cours introductives en physique sont un exemple courant de monstration

[38] Ce constat, réalisé lors des séances de TP avec les étudiants de préparation au concours du CAPES et les stages de formation continue avec les enseignants de sciences physiques est récurrent.

[39] ce problème a fait l'objet de travaux spécifiques en didactique, notamment ceux de Kaminski (1993, 1989)

s'explique également à l'aide de la réfraction des rayons lumineux, donc du même modèle (figure 8), mais pas directement par identité « photographique ».

Fig. 9



Les enseignants ont diversement réagi à problématique posée, et l'enseignant A a perçu le problème épistémologique qu'entraîne l'utilisation habituelle du dispositif en classe : nous l'avons choisi en raison de ses arguments qui portèrent sur l'idée que la facilité avec laquelle les élèves obtiennent les données expérimentales et vérifient la loi de Snell-Descartes se fait au détriment de ce qu'est la physique, son objet, ses méthodes et son fonctionnement. Il développa lors du bref entretien qui suivit qu'il essayait de « faire comprendre » à ses élèves des notions sur la manière dont fonctionne la physique. Mais cet enseignant conçoit isolément cet enseignement, et cette caractéristique contraste avec les deux autres sujets de l'étude.

2.2 Les enseignants B et C

B et C participent depuis quelques années au travail conduit au sein d'un groupe de

recherche-développement sur l'enseignement des sciences physiques (SESAMES : Situations d'Enseignement Scientifique : Activités de Modélisation, d'Évaluation, de Simulation), soutenu par l'inspection académique régionale de la discipline et le rectorat de l'académie de Lyon. Ce groupe est composé d'enseignants de l'académie et de chercheurs en didactique ; il a pour objectif de produire des « *documents d'enseignement largement commentés et tenant compte au mieux des apports des recherches en didactique. Cette logique de recherche-développement permet donc, tout en se confrontant à l'enseignement réel en classe, une réflexion plus générale sur l'enseignement et l'apprentissage de la physique et de la chimie »* (Sesames, 2004).

Parmi les points de vue qu'il revendique sur l'enseignement et l'apprentissage de la physique, ce groupe considère comme « *essentiel de porter un discours sur le fonctionnement de la physique et de la chimie, en s'appuyant sur la propre démarche de l'élève au cours de son apprentissage. Cela peut par exemple consister à expliciter la démarche de modélisation que l'on demande à* l'élève » (ibid.). Autrement dit, il s'agit de « *favoriser la compréhension par les élèves de la physique et de la chimie et du fonctionnement de ces disciplines* » (Sesames, 2009). Ainsi, « *un tel enseignement contribuerait bien évidemment à former le citoyen pour qu'il connaisse mieux les objets d'étude et les méthodes de la science, pour qu'il soit plus à même d'en décrypter les résultats* » (Sesames, 2004).

Au moment du recueil des données, B est un enseignant très actif dans le groupe, et participe à la rédaction d'articles en didactique de la physique (il est titulaire d'un doctorat dans le domaine). De son côté, C revendique une prise de distance depuis quelques années avec le groupe et ses méthodes et privilégie une démarche plus personnelle, notamment pour ce qui concerne notre objet d'étude.

3 Le recueil des données

3.1 Les observations de séance

Les enregistrements des séances constituent le corpus principal à analyser. Nous avons filmé des séances d'enseignement que les enseignants avaient définies eux-mêmes comme étant de celle(s) dans lesquelles ils avaient de leur initiative l'intention de transmettre aux élèves des connaissances relatives à la NOS de leur choix.

3.1.1 Contenus et durées des séances

Sujet	A	B	C
Séances	2 heures (classe entière)	1 heure (classe entière) 1h30 (demi-classe)	1h (classe entière)
Niveau d'enseignement	seconde	seconde	seconde
Thème de physique	Les gaz parfaits	Les gaz parfaits	Mesures de distances à l'aide de la vitesse de la lumière
Contenus des séances	Introduction aux concepts de force pressante et de pression à partir de l'étude mécanique d'un système et du modèle microscopique des gaz.	Passage d'une relation qualitative à une relation quantitative entre deux grandeurs physiques décrivant l'état d'un gaz	Estimation de la distance d'un observateur à un orage à partir de la mesure d'une durée, comme support à une analyse épistémologique, réitérée en prenant pour objet la séance précédente (mesures de longueurs par méthode de visée)
Localisation dans la progression annuelle	Fin d'année (Mai)	Fin d'année (Juin)	Début d'année (octobre)

3.1.2 Dispositif technique

Nous avons utilisé un caméscope placé en fond de classe avec une prise de vue en champ

large. Nous avons procédé quelquefois à des zooms pour obtenir une meilleure observation en gros plan sur des détails de la séance : trace écrite au tableau, projection de diapositives ou rétroprojection de documents divers, détails d'un dispositif décrit par l'enseignant.

La capture du son a été réalisée à l'aide d'un microphone-cravate porté par l'enseignant. Un magnétophone équipé d'un microphone multidirectionnel a été utilisé de manière complémentaire : posé sur la paillasse de la chaire du professeur, il permet de capter certains des propos des élèves qui ne sont pas captés par le microphone-cravate. Ce dispositif est adapté au mieux pour recueillir les propos de l'enseignant, mais pas pour les propos des élèves. Toutefois ces derniers n'ont un intérêt pour notre étude que dans la mesure où ils constituent un pôle de l'interaction avec l'enseignant et peuvent à ce titre conduire ce dernier à des reformulations. A partir du moment où notre étude porte essentiellement sur ce que dit et fait l'enseignant, l'absence de certains des propos des élèves dans le verbatim n'a selon nous pas une incidence significative.

3.2 Les entretiens

3.2.1 L'entretien ante-séance

L'entretien ante-séance a lieu dans les instants qui précèdent la dite séance. Nous souhaitons par ce moyen obtenir de l'enseignant des éléments nous permettant de comprendre quelles sont ses intentions en matière de savoirs de la physique et d'épistémologie de la physique, ainsi que la manière dont il envisage de les enseigner au cours de la séance qui va suivre. Nous nous limitons à recueillir des propos sur le schéma général de la séance à venir et les contenus scientifiques et épistémologiques en jeu, sans exiger plus de détail.

Ces entretiens ont ainsi lieu avec chaque enseignant avant les séances et sont conduits autour de 2 points :

- Quelles sont les intentions, voire les objectifs de l'enseignant en matière de savoirs de l'épistémologie de la physique et comment envisage-t-il de les enseigner?
- Quelle est la partie du programme de physique dont il sera question au moment où seront traités ces savoirs de l'épistémologie de la physique ?

La volonté de ne pas entrer dans les détails de la compréhension de l'enseignant vis-à-vis des savoirs qu'il projette d'enseigner et la proximité chronologique avec le début de la séance a pour but de minimiser des effets que nous considérons comme préjudiciables sur les observations à venir. En effet, les études sur les conceptions des enseignants sur l'épistémologie de leur discipline (Roletto, 1998) mentionnées dans la partie (1) décrivent ces dernières comme peu cohérentes. Notre méthode d'investigation s'inscrit dans des observations de pratiques « ordinaires », et solliciter l'enseignant bien avant la séance sur une explicitation détaillée de sa compréhension à un niveau disciplinaire et didactique de l'épistémologie qu'il souhaite enseigner nous a semblé de nature à perturber ses intentions initiales. Un tel questionnement pourrait contenir des questions telles que : « quel est le rôle que vous donnez à l'expérience dans cette partie ? » ; « l'observation est-elle première dans ce que vous présentez aux élèves comme une expérience ? » ; « voulez-vous faire comprendre aux élèves que l'observation que vous voulez qu'ils fassent est conditionnée par le modèle que vous n'avez pas encore exposé ? » ; « les modèles dont vous parlez ici disent-ils quelque chose sur le réel, où sont-ils des outils de compréhension du réel ? ». Nous pensons qu'une telle démarche peut conduire l'enseignant à prendre conscience d'éventuelles incohérences entre son rapport privé à l'épistémologie de la physique et ce qu'il envisage d'enseigner dans ce domaine et/ou entre ses objectifs en matière de savoirs de l'épistémologie à enseigner et ses choix didactiques relatifs au fonctionnement de la physique. La conséquence de la prise de conscience de tels écarts pourrait influer sur la conduite de la séance, et cette influence pourrait aller d'une révision à la baisse jusqu'à l'abandon de tout ou partie des objectifs épistémologiques puisqu'ils ne sont pas premiers dans l'enseignement.

3.2.2 Les entretiens post-séance

Le bref entretien qui suit chaque séance d'enseignement a pour objet de recueillir « à chaud » le point de vue de l'enseignant sur les écarts ou la cohérence, du point de vue du chercheur entre :

- Les concepts épistémologiques et démarches d'enseignement prévus et ce qui a été observé en la matière
- la nature des savoirs de l'épistémologie enseignés par rapport à ce que l'analyse a priori permet de dégager, notamment au niveau des singularités.

L'entretien ante-séance vise à obtenir de l'enseignant des éléments en lien avec son point du vue de la séance écoulée, et notamment ceux relatifs à d'éventuelles modifications par rapport à ce qui était prévu initialement : la séance correspond-elle à ce qui était prévu ou bien y a-t-il eu abandon d'un objectif, minimisation de cet objectif, réorientation de la séance vers une autre priorité, singularité durant la séance qui aurait pu empêcher de réaliser ce qui était prévu ?

3.2.3 Les entretiens post-analyse

Ces entretiens ont lieu après que nous avons réalisé les analyses des corpus. Nous cherchons à minimiser nos incertitudes d'interprétation en confrontant nos résultats sur le RPE au point de vue de l'enseignant.

4 Le traitement des données

4.1 L'analyse a priori de la séance

Nous analysons le thème du programme de physique auquel se rapporte la séance observée du point de vue des savoirs épistémologiques pouvant faire éventuellement l'objet de développements dans les séances. Cette analyse nous permet d'avoir une lisibilité des concepts épistémologiques possibles et de leur articulation, facilitant ainsi l'analyse des séances dans la mesure où elle familiarise le chercheur avec ces « possibles ». Comme nous sommes partis de l'idée que les enseignants mettraient en œuvre des savoirs de l'épistémologie contextualisés à des savoirs de la physique qui restent leur objectif essentiel, nous supposons que ces savoirs épistémologiques seront peu éloignés de ces « possibles », et l'analyse a priori permet en cela de percevoir la référence des savoirs enseignés en classe à la formulation des programmes. Nous utilisons à cette fin une grille élaborée à partir du chapitre précédent sur les concepts de l'épistémologie considérés selon ce que nous avons appelé « une approche contemporaine », grille qui sera détaillée à la fin de cette partie.

4.2 Synopsis de séance à l'échelle mésoscopique : le découpage de la séance en tâches.

L'étude des praxéologies disciplinaires relatives aux savoirs de l'épistémologie nous conduit à effectuer un premier niveau d'analyse du corpus à l'échelle des tâches en jeu dans la séance. Nous appelons « tâches en jeu » des tâches réalisées par les élèves à la demande de l'enseignant, des tâches réalisées par l'enseignant, ou bien réalisées conjointement par tous les acteurs dans la classe. Inspirée des travaux de Tiberghien et al. (2007), cette analyse consiste à réaliser un découpage chronologique de la séance en séquences associées à des tâches en jeu, permettant d'avoir un « synopsis » en termes de tâches associées à des caractéristiques de savoirs épistémologiques enseignés.

Ces tâches sont prioritairement (mais non exclusivement) de deux types :

- tâche d'activité de la physique relative à un concept de l'épistémologie : ce type de tâche prend la forme des diverses modalités de l'activité scientifique en physique instanciées aux savoirs de la physique, en lien avec les principaux concepts développés dans le chapitre précédent, à savoir les tâches de modélisation, d'observation, d'expérimentation, de construction d'hypothèses et/ou de validation d'hypothèse, etc.
- tâche épistémologique : ce type de tâche relève d'une activité métacognitive en classe qui s'apparente à celle de l'épistémologie, c'est-à-dire qui prend pour objet d'étude un ou des savoirs de la physique en train d'être élaborés ou travaillés en classe, avec l'objectif de construire des savoirs de nature épistémologique sur ces savoirs de la physique et sur la manière dont ils sont élaborés.

Les deux types de tâches ainsi définis nous permettent de caractériser dans l'action la « praxis » de l'enseignant relativement aux savoirs épistémologiques en jeu, ce que nous considérons comme participant à définir son rapport public aux savoirs de l'épistémologie sous la forme contrainte dans l'institution par leur contextualisation aux savoirs de la physique :

- les tâches épistémologiques relèvent de la praxéologie disciplinaire de l'enseignant en permettant d'identifier et de déterminer directement les savoirs de l'épistémologie que l'enseignant veut faire apprendre aux élèves ;
- les tâches d'activité de la physique relèvent plutôt de la praxéologie didactique de la physique, et rendent compte de la manière dont l'enseignant construit la réalité des objets de la physique dans la classe, ce qui est aussi une forme contributive de cette composante publique.

Ces tâches marquent des « moments de l'étude » de la physique ou de l'épistémologie de la physique dans la classe. En raison du contexte de l'enseignement de la physique dans le

secondaire, tel que nous l'avons décrit antérieurement, il nous semble très probable de rencontrer des tâches du premier type et très peu probable d'en rencontrer du second.

Deux catégories de tâches sus-définies peuvent éventuellement être identifiées à plusieurs niveaux de temps et de granularité du savoir en jeu : tester un modèle par exemple suppose de concevoir un protocole expérimental, d'effectuer des mesures et de discuter de la proximité des résultats au modèle testé du point de vue de l'instrumentation utilisée et de la précision attendue ; d'un autre côté, modéliser un système électrique peut se limiter à une tâche de représentation schématique de cet objet d'étude, dans lequel l'enjeu est de faire le choix des éléments pertinents. Ces deux exemples de types de tâche vont occuper éventuellement des durées très différentes, et cela d'autant plus si ils sont réalisés par les élèves, par l'enseignant, ou bien de manière conjointe.

Tout d'abord, nous considérons qu'une tâche de la physique en jeu à travers laquelle l'enseignant souhaite transmettre des savoirs sur la nature et le fonctionnement de la physique est au moins identifiable à l'échelle de quelques minutes, et non à l'échelle des interactions. De plus, des tâches différentes et de durées analogues peuvent être intégrées dans des tâches plus grandes auxquelles elles participent : la tâche d'élaboration de protocole expérimental ou celle de recueil de données peuvent être considérées comme des sous-tâches d'une tâche supérieure qui relève de l'expérimentation, elle-même intégrée dans une macro-tâche qui relève de la validation d'une hypothèse. D'autre part, la manière dont les données sont analysées dépendent à la fois du degré de précision dans la construction des indicateurs qui renvoient au cadre de référence, et de l'appropriation de ce cadre par le chercheur. Ceci a une conséquence directe au niveau du découpage de la séance en éléments de la praxis : selon le niveau de profondeur, ce que nous avons identifié comme une technique peut être considéré à un autre niveau comme une tâche. Par exemple, nous pouvons considérer que réaliser un bilan des forces relève aussi bien d'une micro-tâche que d'une technique pour réaliser une tâche de modélisation en mécanique. Cela dit, nous adoptons l'idée qu'une tâche renvoie au maximum à un ensemble de cinq ou six techniques, ce qui limite le niveau de profondeur.

Ces relations que divers types de tâches d'activité de la physique et des techniques associées entretiennent les uns avec les autres nous conduisent à choisir des échelles de temps dans le découpage qui privilégient la mise en évidence de tâches qui correspondent aux intentions des enseignants en matière de savoirs de l'épistémologie à enseigner. Cette échelle de temps mésoscopique est de l'ordre de la dizaine à la vingtaine de minutes.

Les tâches épistémologiques peuvent faire l'objet des mêmes remarques en terme de temps : une analyse effectuée par les élèves sur les savoirs de la physique en train d'être construits ou sur des processus qui ont présidé à leur construction (relatés par l'histoire des sciences), nécessite une durée d'un autre ordre de grandeur qu'une remarque de l'enseignant à propos de certaines caractéristiques épistémologiques d'un savoir de la physique particulier en train d'être travaillé. Cependant, comme notre objet d'étude est principalement l'enseignement de savoirs de l'épistémologie, et que nous ne nous attendons pas à une forte densité didactique de ces savoirs, nous ne définissons pas a priori d'ordre de grandeur de durée pour ces tâches épistémologiques proprement dites.

Pour accéder à la composante « logos » de la praxéologie disciplinaire, nous procédons par une analyse à l'échelle microscopique des interactions.

4.3 L'analyse des tâche à l'échelle microscopique

L'analyse des tâches au niveau microscopique, c'est-à-dire au niveau du discours de l'enseignant et des interactions avec les élèves à propos des savoirs de l'épistémologie en jeu dans les tâches, est un moyen de cerner plus précisément les praxéologies relatives aux savoirs de l'épistémologie en lien avec les intentions d'enseignement.

Pour les tâches épistémologiques, nous procédons directement à une analyse du discours et des interactions à l'aide de la même grille que celle qui a servi pour l'analyse a priori.

Cependant, au vu de la grande probabilité (voire de la seule présence) de tâches d'activité de la physique et au vu des intentions didactiques particulières de l'enseignant qui selon

nous ne manquera pas de désigner une situation pertinente en rapport avec ses objectifs, le discours de ce dernier et les interactions au cours de ces tâches devraient contenir des incises à caractère épistémologique. Nous pensons que dans le cas où un enseignant enseigne de l'épistémologie de son choix contextualisée aux savoirs de la physique, ce que dit l'enseignant à propos d'un concept épistémologique instancié à un savoir de la physique contient implicitement ce qu'il pense de l'épistémologie de la physique. Les incises sont des éléments microscopiques du discours où sont désignés explicitement un ou des concept(s) épistémologique(s) relatifs à la nature ou au fonctionnement de la physique et le sens qui leur est associé. Ces incises prennent éventuellement la forme de micro-tâches que nous examinons. Il peut arriver aussi que des incises portent dans une tâche sur d'autres concepts que ceux qui constituent l'objectif que s'est donné l'enseignant. Ces incises seront aussi examinées avec la même grille de référence que celle utilisée pour les tâches épistémologiques.

En résumé, l'analyse microscopique porte sur tous les moments d'étude de la séance, que ce soit des moments d'étude « de » la physique ou des moments d'étude « sur » la physique. Nous cherchons à caractériser ce qu'il se dit ou se fait sur le plan épistémologique, concept par concept, au niveau microscopique des différentes tâches, en repérant les instants où sont explicitement évoqués, dans les interactions, des concepts épistémologiques prévus ou non par l'enseignant. Nous présenterons les résultats concept par concept en précisant à chaque élément de caractérisation les types de tâches dans lesquelles elles sont été menées à bien.

Enfin, nous pouvons envisager la présence de tâches d'activité de la physique qui ne font pas nécessairement l'objet d'incises mais qui serviront éventuellement d'appui à des tâches épistémologiques ultérieures. Nous analyserons le discours de celles-ci de la même manière mais uniquement du point de vue des concepts épistémologiques visés par l'enseignant.

4.4 La prise en compte des anomalies

Si les pratiques des enseignants de notre étude ressemblent en partie à celles que les études antérieures ont considérées comme éloignées d'une approche contemporaine de l'épistémologie, l'analyse au niveau microscopique peut nous amener à identifier une signification associée à un concept épistémologique qui ne soit pas conforme à notre grille de référence. Ces micro-tâches ou ces incises peuvent être travaillées ou formulées par l'enseignant au cours des interactions, mais aussi formulées par les élèves sans qu'ils rencontrent de désaccord de la part de l'enseignant. De même, il se peut qu'au niveau mesoscopique, des tâches épistémologiques ou des tâches d'activité de la physique ne relèvent pas de nos catégories d'analyse. Nous considérons tout aussi bien que ces singularités sont des éléments de la praxéologie de l'enseignant et qu'elles constituent des indices de la manière dont s'est construit le rapport personnel de l'enseignant aux objets de savoir épistémologiques, notamment sous l'influence de la pratique d'enseignement de la physique.

4.5 Les caractéristiques du savoir épistémologique enseigné

4.5.1 Les niveaux d'explicitation des concepts

Partant de l'idée que ce qu'apprennent les élèves est en relation avec ce qui se dit et se fait en classe, et reprenant l'idée de Tiberghien selon laquelle l'enseignement se fait à travers le signe, nous faisons l'hypothèse que la compréhension par les élèves de la nature épistémologique des savoirs en jeu dépend de leur identification par les élèves dans la classe, qui passe par leur niveau d'explicitation dans la classe. Cela ne signifie pas que les élèves apprennent seulement ce qui est explicite. Les choses peuvent être aussi implicites mais avec des articulations qui rendent le cheminement lisible, sans que soit qualifiée cette articulation, et la reproduction de ce cheminement peut contribuer à un apprentissage. Mais l'hypothèse que nous faisons se situe à l'échelle de la séance ou des

quelques séances qui portent les intentions de l'enseignant en matière d'épistémologie.

A priori, nous pouvons repérer deux cas possibles :

- Registre explicite : le savoir enseigné est explicite pendant la séance : l'enseignant qualifie nommément la nature épistémologique des savoirs de la physique dont il est question (hypothèse, modèle, expérience, etc…) et souhaite faire comprendre aux élèves quelle est la nature et la place de ce concept dans le fonctionnement de la physique.
- Registre implicite : ce que fait ou dit l'enseignant est en rapport avec ses intentions en matière d'enseignement de l'épistémologie, mais l'identité des concepts épistémologiques et leurs caractéristiques restent implicites et seulement lisible pour le chercheur, doté d'une grille de lecture lui permettant d'identifier les concepts de l'épistémologie au niveau micro. Mais à l'échelle de la séance, les élèves ne l'ont pas.

Nous utilisons une échelle un peu plus fine dans laquelle le registre explicite est décliné en 5 niveaux croissants (e0, e1, e2, e3, e4, e5) selon la présence dans les propos de l'enseignant de la qualification de la nature épistémologique du savoir de ce à quoi cette qualification renvoie (cf. page suivante).

Niveau e0	pas d'explicitation de la nature épistémologique du savoir de la physique, que ce soit de sa qualité ou de ce à quoi renvoie cette qualité. Autrement dit, il s'agit du registre de l'implicite.
Niveau e1	explicitation de la nature épistémologique du savoir de la physique : « modèle », « loi », « observation », etc…
Niveau e2	explicitation de la signification de la nature épistémologique du savoir de la physique dans le contexte des savoirs de la physique travaillés durant la séance : « limite de validité du modèle », « l'observation est chargée de théorie », « une expérience est une phénoménotechnique»
Niveau e3	Décontextualisation des savoirs épistémologiques ; définition générale
Niveau e4	discernement entre le fonctionnement de la physique en classe et à l'extérieur de la classe.
Niveau e5	explicitation de la signification de la nature épistémologique du savoir de la physique dans l'histoire de la pensée scientifique

4.5.2 La grille d'analyse des savoirs épistémologiques

Cette grille constitue notre référence pour lire dans les activités et les interactions ce qui relève de concepts caractérisant la nature et l'activité d'élaboration des connaissances produites par l'activité scientifique. Ces concepts sont ceux de modèle et modélisation, loi, théorie, hypothèse, observation, expérience et expérimentation. Elle est construite dans un processus d'aller et retour entre que nous avons appelé l'approche interne de l'épistémologie contemporaine de la physique et le corpus de données, ce dernier nous permettant de sélectionner ceux des concepts qui y sont implicites ou explicites. Nous n'explicitons ici que les grilles associées à des concepts que nous avons effectivement identifiés dans les séances des enseignants que nous avons observées. Peut-être que d'autres séances et/ou d'autres séances du même enseignants nécessiteraient de préciser d'autres grilles d'analyse qui prennent en compte d'autres concepts.

Concept épistémologique : **Modèle et modélisation**

Type de modèle	Signification	Fonction	Mode d'élaboration
1 : outil d'intelligibilité du réel (valeur générique)	Proposition sur le réel (monde physique) qui appartient au monde de la science physique (monde des théories) Est inclus dans une théorie Est associé à un champ empirique spécifique : est adapté à son objet Est une construction mentale individuelle ou collective N'est valable que pour un certain domaine de la réalité / présente une limite de validité Doit faire l'objet d'une confrontation au réel Peut toujours être amélioré, perfectionné pour être au plus près des données expérimentales Peut toujours être amélioré, perfectionné pour rendre compte d'un champ expérimental plus grand Peut-être qualitatif ou quantitatif Fait intervenir des grandeurs physiques, instruments d'analyse du champ expérimental associé	*Expliquer, interpréter, des phénomènes* *prédire ou rétro-dire l'évolution d'une partie du réel* *décrire un objet d'étude, un phénomène qui se donne à voir ; représenter certains aspects de la réalité, une portion limitée du réel*	Peut-être inféré à partir de données expérimentales (modèle expérimental)
2 : modèle figuratif	représentation comme reproduction du réel perceptible (figuration)		Schématisation du réel perceptible
3 : modèle analogique	modèle qui s'applique sur une partie du réel, construit en s'inspirant des mêmes concepts physiques qu'un autre modèle portant sur un autre domaine de réalité (exemple du modèle mécanique macroscopique qui a servi pour développer des modèles à d'autres échelles de la physique (microscopique, astronomique), ou bien du modèle des ondes électromagnétiques élaboré par analogie aux ondes mécaniques)		Réutilisation des concepts d'un modèle archétypique à une échelle différente d'analyse du réel
4 : bathygène	Représentation explicative du réel à une échelle donnée pour rendre compte de phénomènes à une échelle supérieure		

Concept épistémologique : **Loi**

Type de Loi	signification	Fonction	Mode d'élaboration
générique	Elément d'un modèle reliant des grandeurs physiques	S'emploie dans raisonnement nomologico-déductif pour prédire ou rétrodire	Elaborées selon un processus à la fois inductif et hypothético-déductif
1 : loi (de la Nature)	Toute norme immanente, invariable, de l'être ou du devenir : toute relation constante et objective dans la nature, constituant la structure de la réalité.	Ces lois ne sont pas sensibles mais intelligibles : elles ne sont pas perceptibles, mais les physiciens les infèrent à partir des phénomènes.	
2 : énoncé nomologique ou énoncé de loi	Toute hypothèse générale (particulière ou universelle) qui se réfère indirectement à une *loi* et qui constitue la version conceptuelle de celle-ci. Propositions, prenant souvent la forme d'équations, au sujet de normes objectives. Mais tout énoncé nomologique peut être perfectionné dans son extension aussi bien que dans sa précision.	Toute loi de ce type possède un domaine de validité particulier et est faillible parce qu'elle dépend en partie de l'expérience.	
3 : énoncé nomo-pragmatique	Conséquence des énoncés nomologiques conjointement avec des éléments d'information spécifiques. Toute règle d'action, relation invariable de nature pragmatique, au moyen de laquelle on peut régler (avec succès ou non) un comportement. Enoncés nomologiques prédictifs : propositions au moyen desquelles sont faites des prédictions (ou des rétrodictions) d'événements singuliers.	Ces énoncés de lois doivent être généraux, significatifs et vérifiables.	

4 : énoncé méta-nomologique	« lois sur les lois », autrement dit tout principe général relatif à la forme et/ou à la portée des énoncés de loi appartenant à une quelconque branche de la science factuelle. Ce sont des prescriptions méthodologiques et/ou des principes ontologiques, de nature métascientifique ou épistémologique qui guident la construction des théories. Sont contenus dans cette catégorie les « principes » tels que celui de la covariance générale, de relativité du mouvement, de conservation de l'énergie totale d'un système isolé (appelé premier principe de la thermodynamique), etc.	Permet de penser les phénomènes à partir de proposition non vérifiables par l'expérience.	

Concept épistémologique : **Hypothèse**

Type d'hypothèse	**signification**	**Fonction**	**Mode d'élaboration**
générique	Proposition générale vérifiable Présupposés confirmés ou établis tout énoncé qui possède un degré de généralité « suffisant » une proposition particulière ou générale qui ne peut être vérifiée que de manière indirecte, à travers l'examen de l'une de ses conséquences Appartient au monde des théories et des modèles Est incluse dans une théorie (fonctionnement de la science normale)	Constitue une explication d'un phénomène en attente d'être validée	

Concept épistémologique : **Expérience / observation**

Type d'expérience, d'observation	signification	Fonction	Mode d'élaboration
générique	Est une phénoménotechnique : les données obtenues sont prévues par le modèle aux incertitudes près liées à l'instrumentation.	Permet de recueillir des données pour un domaine du réel associé au champ de validité d'un modèle Est utilisée pour tester une hypothèse (un modèle hypothétique) Est utilisée pour tester le domaine de validité d'un modèle	Nécessite préalablement un protocole orienté par une hypothèse Met en œuvre une chaîne d'instruments fondée sur des théories/modèles connus

Partie 3 : résultats

Présentation des résultats

Analyse a priori du thème commun aux enseignants A et B

Enseignant A

Enseignant B

Enseignant C

Présentation des résultats

Nous présentons pour chacun des enseignants :

1 L'analyse a priori du thème faisant l'objet de la séance observée :

- L'analyse du thème du programme de physique (BOEN, 2001) en termes de savoirs de la physique et de concepts épistémologiques probables sur lequel porte la séance observée.
- Les intentions de l'enseignant tirées des entretiens ante-séance vis à vis de l'enseignement des savoirs épistémologiques dans ce thème.

2 L'analyse des pratiques :

2.1 Narration chronologique

La narration chronologique est un compte rendu de la progression dans le temps de la séance. Elle permet de connaître globalement ce qui s'est passé durant la séance observée, du point de vue de ce que l'enseignant et les élèves ont fait. Dans un souci de cohérence, et pour en faciliter la lecture nous avons choisi structurer les étapes chronologiques en séquences dont le découpage relève des types de tâches (voir point suivant).

2.2 L'étude des praxéologies

Les résultats sont présentés successivement à deux niveaux pour chacun des enseignants :

2.2.1 Niveau des types de tâches en lien avec les savoirs épistémologiques en jeu dans la séance.

Ces types de tâches découpent la séance en séquences. Nous présentons d'abord le tableau synoptique de la séance et les types de tâches en lien avec les concepts en jeu dans la séance, puis les tâches et sous-tâches liés à ces concepts instanciés aux savoirs de la physique en jeu. Enfin, ces tâches et sous-tâches sont associées aux techniques en oeuvre permettant leur réalisation. Chaque type de tâche est une généralisation effectuée à partir des tâches en oeuvre dans la séance, généralisation effectuée par décontextualisation de la tâche des savoirs de la physique en jeu. L'avant dernière colonne du tableau reprécise le ou les concept(s) épistémologique(s) en jeu dans les séquences (« concept en jeu »). La dernière colonne du tableau mentionne le ou les concept(s) épistémologique(s) présents dans le discours de l'enseignant et dans les interactions avec les élèves (« concept explicite »). Il permet de faire par la suite un lien entre les niveaux mésoscopique (celui des tâches) et microscopique (celui des interactions). Le tableau synoptique est suivi d'une analyse plus détaillée qui précise et commente certains points et surtout étaye chaque tâche et technique de manière non exhaustive avec deux ou trois exemples du corpus.

2.2.2 Niveau du discours de l'enseignant et des interactions avec les élèves

Pour comprendre ce qui est dit à propos des concepts de l'épistémologie, les résultats sont présentés sous la forme de tableaux. Chaque tableau est associé à un concept épistémologique présent de manière explicite dans le discours et en précise le sens.

Les tableaux sont présentés sous la forme suivante :

Objet / sens du concept de modèle	*Nombre d'occurrences*	*séquence*	*tour de parole*	*Exemples d'extraits significatifs du corpus*	*Niveau d'explicitation*

Les différentes colonnes servent à préciser le sens du concept épistémologique ou l'objet sur

lequel il porte ; le nombre d'occurrences rencontrées de cette déclinaison du concept ; les numéros de séquences correspondant à ces occurrences, le tour de parole où ces concepts sont localisés, quelques exemples significatifs du corpus et le niveau d'explicitation de cette déclinaison. Ces tableaux sont suivis d'une synthèse des résultats à cette échelle et des commentaires associés.

2.2.3 Le rapprochement des deux échelles d'analyses

La partie des analyses proprement dites pour chaque enseignant se termine par une synthèse obtenue par rapprochement des analyses aux deux échelles.

Analyse a priori du thème commun aux enseignants A et B

Les séances observées pour les sujets A et B s'inscrivent dans la partie du programme de seconde relative à la physique des gaz, qui a pour objet l'étude de « *l'air qui nous entoure* » (BOEN, 2001). Nous présenterons d'abord les éléments essentiels du programme relatif à ce thème, puis nous ferons une analyse de ce thème du point de vue des concepts épistémologiques que nous pourrions être amenés à observer durant la séance.

2.3 Le programme

Les instructions officielles (ibid. et tableau ci-dessous) indiquent que l'enseignement de cette partie permet d' « illustrer l'existence de plusieurs niveaux d'appréhension du monde naturel, le macroscopique et le microscopique », en « apprenant à modéliser le comportement de cette matière gazeuse dont la nature microscopique n'est pas aisément perceptible ».

A cette fin, il est proposé de mettre « d'abord en évidence l'agitation moléculaire puis, comme il est impossible de connaître le mouvement précis des molécules, on introduit les grandeurs macroscopiques qui vont permettre de rendre compte de l'état d'un gaz » (ibid.). Le tableau suivant reprend la partie du programme à laquelle se réfèrent les contenus de cette séance.

Exemples d'activités	Contenus	Connaissances et savoir-faire exigibles
Comment expliquer que deux gaz finissent toujours par se mélanger. Observation du mouvement brownien.	1. Du macroscopique au microscopique. 1.1. Description d'un gaz à l'échelle microscopique. 1.2.1. Nécessité de décrire l'état gazeux par des grandeurs physiques macroscopiques 1.2.1 Notion de pression force pressante exercée sur une surface, perpendiculairement à cette surface. définition de la pression exercée sur une paroi par la relation P=F/S. instrument de mesure de la pression : le manomètre. unités de pression. mise en évidence et origine de la pression dans un gaz ; interprétation microscopique.	Savoir que la matière est constituée de molécules en mouvement. Savoir que l'état d'un gaz peut être décrit par des grandeurs macroscopiques comme : son volume la quantité de matière du gaz sa pression Utiliser la relation P=F/S. Connaître l'unité légale de pression. Savoir interpréter la force pressante sur une paroi par un modèle microscopique de la matière.

Des commentaires précisent et complètent les éléments du tableau précédent :

> *« Les logiciels de simulation sont d'une aide précieuse pour permettre aux élèves de se construire une représentation du modèle microscopique. On peut signaler que la vitesse moyenne d'une molécule de dioxygène ou de diazote de la salle de classe est d'environ 500 m/s . Si l'enseignant souhaite faire observer le mouvement brownien (dans un gaz ou dans un liquide), l'idée que cette vitesse moyenne diminue lorsque la masse augmente peut être évoquée. En effet, les particules de poussières qui sont "géantes" et très lourdes comparées aux molécules de l'air se déplacent beaucoup moins vite. C'est ce qui permet l'observation du mouvement brownien dans le champ d'un microscope. » (ibid.)*

2.4 Les savoirs de l'épistémologie à enseigner

Les contenus des programmes souffrent comme nous l'avons fait remarquer dans la

problématique de l'absence d'explicitation et de précision quant à leur statut épistémologique, précisions qui pourraient permettre aux enseignants de s'interroger de manière plus constructive sur ces questions et de se les approprier davantage comme des objets d'enseignement, tout au moins de structuration des savoirs de la physique à enseigner.

Si notre travail ne consiste pas, rappelons-le, à mettre en relation une lecture de nature épistémologique des savoirs à enseigner avec les pratiques des enseignants, une telle lecture a priori permet d'identifier des notions épistémologiques contextualisées à des savoirs de la physique à enseigner en vue de leur identification éventuelle dans l'examen des pratiques observées. En effet, selon la manière dont est libellée la partie du programme concernée, nous pouvons nous attendre à observer durant la séance certains éléments qui renvoient à tel ou tel concept épistémologique, mais cela ne limite en rien le fait qu'il puisse y en avoir d'autres a posteriori, car l'enseignant peut choisir d'ancrer les contenus qu'il enseigne dans un canevas épistémologique différent, en tout cas plus ou moins riche que celui qui relève de cette première analyse.

Ainsi, la partie du programme qui nous intéresse recèle plusieurs notions essentielles et plusieurs niveaux d'analyse : à l'occasion de la « *description d'un gaz à l'échelle microscopique* », les élèves doivent apprendre que *« la matière est constituée de molécules en mouvement* ». Les objectifs et commentaires associés proposent de commencer par une observation du « *mouvement brownien* » à l'aide d'un microscope, et y constater le déplacement aléatoire d'une particule de poussière dans un gaz ou un liquide. Pour expliquer ce phénomène, on fait alors appel au modèle microscopique du gaz. Celui-ci ne constitue pas l'aboutissement d'un travail de modélisation, mais est introduit comme une donnée d'ordre théorique, notamment étayée par une donnée numérique (*« on peut signaler que la vitesse moyenne d'une molécule de dioxygène ou de diazote de la salle de classe est d'environ 500 m/s* »). L'absence de la mention explicite de « modèle théorique » et son étayage par une valeur numérique confère à ce savoir un statut épistémologique implicite. Selon ce modèle microscopique, le mouvement brownien est dû à l'agitation

désordonnée des molécules en mouvement qui se déplacent dans le vide qui les sépare, l'ensemble constituant le milieu dans lequel est plongée la particule de poussière. On considère ainsi que chaque particule se déplace dans une direction quelconque selon une trajectoire rectiligne et change de direction lors de la rencontre avec une autre particule avec laquelle elle entre en collision (choc). Le déplacement aléatoire de la particule de poussière, de masse bien plus importante, est expliqué par les chocs également aléatoires qu'elle subit lors des rencontres avec des molécules du milieu. Pour rendre compte du lien entre le modèle microscopique et le phénomène, « *les logiciels de simulation sont d'une aide précieuse pour permettre aux élèves de se construire une représentation du modèle microscopique* » (ibid.). Mais ce modèle complexe et peu commode pour décrire le comportement global d'un gaz nécessite de passer à un autre niveau de modélisation par la construction de grandeurs macroscopiques, telles que la pression, qui permettent de décrire l'état du gaz.

Dans la colonne « *activités* », le programme suggère de mettre en œuvre une activité expérimentale comme support de l'enseignement de cette partie : « *comment expliquer que deux gaz finissent toujours par se mélanger* ». Cette activité renvoie simultanément à une expérience à réaliser et/ou à observer (mélange de deux gaz) et à son interprétation qui s'appuie également sur le modèle microscopique cinétique d'un gaz : en présence d'une paroi qui sépare deux gaz de natures différentes, les molécules constituant les gaz contenus dans chaque compartiment se déplacent aléatoirement dans le volume disponible de ces compartiments. Si l'on supprime la paroi qui sépare les deux compartiments, les molécules en mouvement se déplacent de manière aléatoire mais dans un volume disponible deux fois plus grand et c'est ce qui permet d'expliquer le mélange des deux gaz. Cela dit, on peut comprendre à la manière dont elle est formulée que cette activité peut être considérée comme une observation introductive de la séquence d'enseignement, ou bien qu'elle peut être mise en œuvre de manière à étayer par une observation le modèle cinétique microscopique proposé.

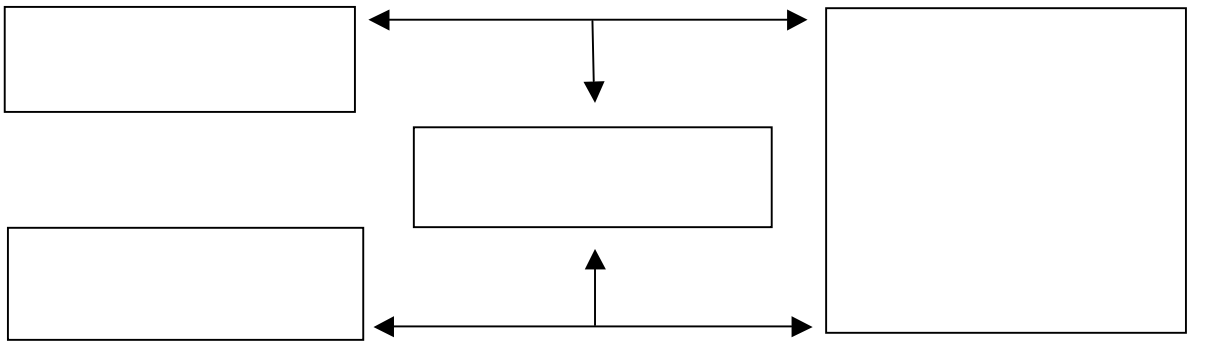
En définitive, nous pouvons comprendre à la lecture du programme qu'il s'agit de construire

Notion de pression

Mélange de deux gaz

la notion de pression à partir du modèle microscopique du gaz utilisé comme « un donné » de nature « théorique » pour expliquer les observations effectuées du mouvement brownien et du mélange de deux gaz. Nous sommes donc dans ce qui relève d'une démarche de modélisation, dans laquelle on peut s'attendre à trouver différents éléments qui se rapportent aux notions épistémologiques d' « observation », de « théorie » et de « modèle théorique ». Ainsi l'enseignement de la notion de pression apparaît comme celui d'un modèle à construire à partir phénomènes observés (mouvement brownien et mélange de deux gaz) et du modèle théorique de la cinétique des gaz, constituant un cadre qui permet d'expliquer les premières. Leur articulation peut être schématisée de la manière suivante :

Champ expérimental	Modélisation	Théorie



Enseignant A

Verbatim de la séance	Annexe 1 p. 8
Niveau d'enseignement	Seconde générale
Partie du programme	Physique des gaz : *« l'air qui nous entoure »*
Place dans la séquence	Première séance : introduction au concept de pression

Les observations réalisées avec cet enseignant sont les premières de notre étude et ont eu lieu avant que la méthodologie correspondant à nos questions de recherche soit complètement finalisée ; réaliser des observations dans ces conditions pouvait nous priver de données a posteriori précieuses. Cela dit, il nous a semblé opportun d'effectuer ces observations pour obtenir quelques éléments empiriques, même de manière un peu hâtive, d'abord en raison de la rareté des sujets adaptés à notre étude, ensuite car nous pensions que pour autant que les questions épistémologiques soient prises en charge par l'enseignant, son discours en classe et les activités mises en œuvre contribuaient à produire des séances singulières par rapport aux séances habituelles.

2.5 Les intentions de l'enseignant

À partir des éléments de l'entretien qui précède la séance, il nous est possible d'identifier assez clairement que l'enseignant souhaite faire comprendre aux élèves le processus de modélisation du comportement d'un gaz, simultanément à l'objectif didactique de construction de la notion de force pressante et de pression d'un gaz. En effet, selon lui, cette partie se prête à montrer, « *comment utiliser un modèle, comment, à partir de la situation réelle et à partir du modèle moléculaire, on peut passer à l'idée de pression, de force pressante* ». A cette fin, il se propose de faire utiliser par les élèves *« des dessins pour raisonner : en faisant des schémas, on peut guider le raisonnemen*t ». Il s'agit ainsi *« de relier la force pressante à quelque chose qui soit un raisonnement* » qui articule une situation réelle observée avec un modèle microscopique du gaz : « *Comment partir du macro, connu, comment donner une interprétation* [de la force pressante] *à l'aide d'un modèle connu* (modèle microscopique du gaz) ». *« Il faudrait que d'eux-mêmes, ils* [les élèves] *fassent ce raisonnement*. De plus, il semblerait, de manière analogue à notre analyse épistémologique des savoirs à enseigner, que le modèle microscopique du gaz ne constitue pas l'enjeu d'un travail de modélisation en classe, et soit utilisé comme une donnée et à ce titre est à associer plutôt à un objet théorique.

Nous pouvons identifier globalement dans les propos de l'enseignant les principales étapes qui balisent son enseignement prévu. En revanche, nous ne pouvons pas repérer précisément et surtout complètement les statuts épistémologiques qu'il attribue aux différentes étapes du savoir à enseigner et à leur articulation, au-delà de la seule mention épistémologique explicite « *modèle* » attribuée au modèle microscopique du gaz. Ceci constitue un point délicat sur lequel nous allons nous arrêter un instant :

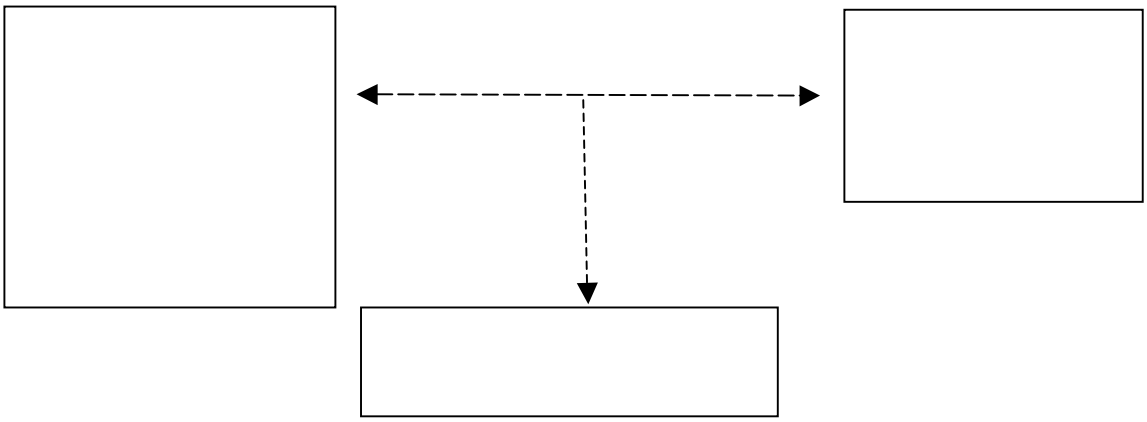
Si l'enseignant exprime ainsi le souhait de construire avec ses élèves la notion de pression à partir du modèle microscopique du gaz utilisé comme modèle théorique pour expliquer les observations du mouvement brownien et du mélange de deux gaz et la nécessité d'utiliser des schémas pour avoir une compréhension de ces phénomènes, ces propos sont relativement clairs auprès de tout enseignant qui partage au moins pour partie la même

culture de l'enseignement, sans aller plus loin dans le questionnement : un dispositif expérimental permet de produire un phénomène, comme celui du mouvement brownien ou le mélange de deux gaz. Cette situation « concrète » fait l'objet d'observations, donc d'éléments de description et conduit par exemple à utiliser des modèles théoriques, qui, instanciés à la situation observée à l'aide de schémas, permettent de l'expliquer.

Pression, force pressante d'un gaz

Mais nous pouvons identifier néanmoins à ce stade que la séquence va se dérouler autour de la question de l'utilisation des modèles, des apports théoriques et de leur articulation avec une situation « *réelle* » observée. L'objet de la séance, selon ce que nous comprenons des propos de l'enseignant, consiste ainsi à articuler différentes étapes selon le schéma suivant, qui à ce stade d'analyse est proche de celui que nous avons construit à partir des instructions officielles :

Situation « réelle »	Modélisation	Modèle connu - Théorie



3 Analyse de la séance

3.1 Narration chronologique

Séquence A (12'41) : L'enseignant introduit la séance en précisant que ce qui a été abordé

en mécanique précédemment (*équilibre mécanique*) sera réinvesti pour réaliser l'étude à suivre. Il présente un dispositif constitué d'une seringue que les élèves doivent modéliser du point de vue de la mécanique (*bilan des forces sur le piston et application de la première loi de Newton : l'ensemble des forces appliquées sur le piston se compensent*).

L'enseignant modifie le dispositif en y ajoutant une seconde seringue, reliée à la première par l'intermédiaire d'un tuyau flexible. L'enseignant maintient le piston de la première seringue dans sa position initiale pendant qu'un élève exerce une action de traction sur le piston de la seconde. Les élèves doivent modéliser cette seconde situation (*les deux pistons sont toujours immobiles*). L'application de la première loi de Newton fait apparaître la nécessité de prendre en compte une nouvelle action mécanique (*force de pression)* de telle manière que toutes les forces qui s'appliquent sur le premier piston se compensent.

Séquence B (14'19) : L'enjeu à partir de là est de définir cette nouvelle force *(force de nature différente à celles que les élèves connaissent déjà*). A cette fin, les élèves doivent utiliser leur prérequis relatif au modèle microscopique des gaz (*un gaz est constitué d'atomes ou molécules qui se déplacent librement dans tout le volume d'un contenant, et qui par conséquent s'entrechoquent et heurtent les parois du contenant*).

Séquence C (9'02) : L'hypothèse selon laquelle la force macroscopique de pression est due aux chocs des atomes sur les parois du contenant conduit à prédire un vecteur force macroscopique dont le sens est opposé à celui prévu par la première loi de Newton. Le respect à cette dernière impose donc la nécessité de prendre en compte l'action mécanique sur le piston de l'air extérieur à la seringue.

Séquence D (33'17) : l'enseignant détaille le modèle microscopique des gaz, en y associant quelques exemples quantitatifs *(vitesse des atomes selon la température dans le cas de l'Hélium*) et le concept « *d'agitation moléculaire* ». Ce modèle sert par la suite à interpréter l'observation du mélange spontané de deux gaz initialement séparés par une paroi.

Séquence E (41'30) : L'enseignant aborde la notion de « force de pression » : le travail conduit par la suite dans la classe consiste à modéliser précisément la force de pression à

l'aide du modèle cinétique microscopique des gaz (direction, sens, unité). L'enseignant énonce enfin la définition de la pression à partir de celle de force de pression.

3.2 Analyse en tâches/techniques

Cf. page suivante

3.2.1 Tableau synoptique

séquence	temps	tdp	Type de tâche	Tâches/sous-tâches	*τechnique*	Concept explicite	Concept en jeu
A	12'41	1-11	A. Modéliser un objet d'étude dans le cadre de la mécanique de Newton	A.1. Modéliser le piston (objet d'étude 1) immobile d'une seringue du point de vue des actions mécaniques qui s'y appliquent A.2. Modéliser le dispositif (objet d'étude 2) du point de vue des actions mécaniques qui s'y appliquent A.3. Déduire de la conformité de la modélisation au principe de l'inertie dans le cas (2) qu'il s'exerce une autre action (inconnue) sur le système	*A.1,2.t1. Faire un schéma de l'objet d'étude* *A.1,2.t2. Faire un bilan des actions mécaniques sur le piston et représenter les forces correspondantes sur le schéma ;* *A.1,2.t3. Vérifier que la modélisation de l'objet d'étude est conforme à la première loi de Newton.* *A.2.t4. En cas de non conformité du modèle à la loi, réexaminer la modélisation de l'objet d'étude.*	Ppe Hyp	Modn Loi Hyp
B	14'19	11-46	B. Modélisation « bathygène » : Modéliser un concept macroscopique à partir d'un modèle microscopique établi.	B.1. Définir le sens de la force macroscopique inconnue à partir du mouvement des constituants du gaz et de leurs chocs sur les parois de la seringue.	*B.1.t1. Définir qu'un gaz est constitué d'atomes ou de molécules qui se déplacent de manière aléatoire.* *B.1.t2. Représenter les déplacements aléatoires des constituants du gaz (points associés à des vecteurs vitesses) à l'intérieur du piston.* *B.1.t3. Représenter les constituants du gaz qui viennent heurter le piston.* *B.1.t4. Considérer que chaque fois qu'un constituant du gaz vient heurter la paroi, il exerce une action mécanique.* *B.1.t5. Déduire le sens de la force macroscopique inconnue à partir du sens de l'action microscopique*		Mod Modn

séquence	temps	tdp	Type de tâche	Tâches/sous-tâches	*τechnique*	Concept explicite	Concept implicite
C	9'02	46-51	C. Comparer deux modèles du point de vue de leur prévision ; en cas de contradiction, réexaminer la modélisation de l'objet d'étude	C.1.Comparer les prévisions fournies par le modèle réalisé dans le cadre de la mécanique macroscopique de Newton et par celui réalisé à l'aide du modèle microscopique des gaz ; en cas de contradiction entre les prévisions, réexaminer la modélisation mécanique du piston de la seringue. C.2. Modéliser de nouveau le dispositif (2) du point de vue des forces qui s'y appliquent	*C.1.t1. Comparer le sens de la force inconnue prévu par la première loi de Newton à celui prévu par le modèle microscopique.* *C.1.t2. Compte tenu que la première loi de Newton et le modèle microscopique des gaz sont incontestables, faire l'hypothèse d'une autre force macroscopique à prendre en compte dans le bilan réalisé dans le cadre de la mécanique de Newton* *C.2.t1. Faire un schéma du dispositif* *C.2.t2. Faire un bilan des actions mécaniques sur le piston et représenter les forces correspondantes sur le schéma ;* *C.2.t3. Vérifier que la modélisation de l'objet d'étude est conforme à la première loi de Newton.*	Phé Mod	Modn
D	33'17	52-67	D. Expliquer, interpréter un phénomène à partir d'un modèle théorique	D.1. Définir précisément le modèle microscopique du gaz : un gaz est constitué d'atomes qui se déplacent avec de « grandes vitesses », que ces vitesses augmentent avec la température (« agitation thermique »), que les atomes s'entrechoquent et qu'ils heurtent la paroi du contenant (causalité bathygène entre le concept de force pressante et les choix des atomes sur le piston) D.2. Expliquer, interpréter le mélange de deux gaz à l'aide du concept d'agitation thermique	*D.2.t1. Représenter dans le schéma de deux enceintes séparées par une paroi (V1 et V2) des atomes de type x et des atomes de type y, tous en déplacement à grande vitesse et dans toutes les directions ;* *D2.t2. Dans un schéma d'une enceinte identique à la précédente dans laquelle il n'y a plus de paroi de séparation, représenter des atomes x qui pénètrent librement dans la partie V1 et des atomes de type y qui pénètrent dans la partie V2.*	Mod	Mod Modn

séquence	temps	tdp	Type de tâche	Tâches/sous-tâches	*τechnique*	Concept explicite	Concept implicite
E	41'30	68-86	E.a. Modéliser un concept macroscopique à l'aide d'un modèle microscopique (modélisation bathygène) E.b. Vérifier par l'expérience la pertinence du modèle	E.a.1. Prévoir la direction et le sens de la force pressante macroscopique à partir du modèle microscopique du gaz : la force pressante a une direction perpendiculaire à la paroi du contenant et s'exerce de l'intérieur vers l'extérieur) E.a.2. Etablir la relation à la surface de la norme de la force pressante macroscopique à partir du modèle microscopique du gaz (établir la relation de proportionnalité entre l'intensité de la force de pression et la surface sur laquelle elle s'applique). E.b.1. Expliquer à l'aide ce modèle les observations suivantes : • Au cours de « l'expérience de la vessie percée », les jets d'eau sortent de la vessie sphérique et sont à chaque endroit perpendiculaires à la surface de la vessie ; • une capsule manométrique est soumise dans l'eau à des forces pressantes identiques quelle que soit son orientation.	*E.a.1.t1. Représenter les déplacements aléatoires des constituants du gaz (points associés à des vecteurs vitesses) à l'intérieur d'une enceinte* *E.a.1.t2. Représenter les constituants du gaz qui viennent heurter un élément de surface de la paroi de l'enceinte.* *E.a.1.t3. Considérer que chaque fois qu'un constituant du gaz vient heurter la paroi, il exerce une action mécanique microscopique.* *E.a.1.t4. La force macroscopique est la résultante de la multitude des actions mécaniques microscopiques qui s'exercent sur l'élément de surface* *E.a.2.t1. Représenter les actions microscopiques du gaz sur un élément de surface quelconque, puis sur un élément de surface double de la première, puis triple ; les atomes du gaz exercent une force pressante qui double puis triple avec la surface de la paroi.* *E.a.2.t2. Par induction, la force de pression est proportionnelle à la surface sur laquelle elle s'exerce.* *E.b.1.t1. Vérifier la cohérence entre les phénomènes observés et les prévisions données par le modèle.*	Mod Phé Exp	Modn Obs

3.2.2 Détail de l'analyse

Le découpage du corpus selon des tâches relatives aux notions de modèle et de modélisation a été réalisé a priori sur des durées de quelques minutes à la douzaine de minutes, dans le souci d'identifier de telles tâches instanciées dans les savoirs de la physique. Mais cette échelle d'analyse a priori n'est pas totalement opérante ici : les tâches de nature épistémologique sont souvent implicites et dans ce cas seules les tâches en lien avec l'apprentissage de savoirs de la physique sont observables. Cela nous conduit à agrandir progressivement la focale d'analyse pour augmenter le champ et mettre en lumière les types de tâches recherchées.

A cette échelle (de 10 à 40 minutes), les tâches que nous avons identifiées sont de 5 types notés A, B, C, D, E :

A. Modéliser un objet d'étude dans un cadre théorique donné (celui de la mécanique newtonienne) (12'41)
B. Modéliser un concept macroscopique à partir d'un modèle microscopique (modélisation « bathygène ») (14'19)
C. Comparer deux modèles du point de vue de leur prévision ; en cas de contradiction, réexaminer la modélisation de l'objet d'étude (9'02)
D. Expliquer, interpréter un phénomène (une observation) à partir d'un modèle (33'17)
E. Vérifier par l'expérience la pertinence d'un modèle (41'30)

Chaque séquence associée à un type de tâche contient un ensemble de techniques, certaines identifiables dans le corpus, certaines inférées à partir du corpus. Nous donnons quelques exemples des instructions données par l'enseignant durant la direction d'étude relativement aux différents types de tâches identifiés, renvoyant en cela aux différentes techniques nécessaires pour accomplir les tâches :

Séquence A : Modéliser un objet d'étude dans un cadre théorique donné (Mécanique Newtonienne)

- *A.1,2.t1. Faire un schéma (simplification) de l'objet d'étude*

tdp 5	« Est-ce qu'il y a des commentaires à faire sur le dessin » ?
tdp 8	*« Donc la deuxième situation, vous schématisez ça, allez, Pierre… »*
tdp 11	*« Alors on peut ou non dessiner le reste alors moi je choisis de ne pas dessiner le reste »*

- *A.1,2.t2. Faire un bilan des actions mécaniques sur le piston et représenter les forces correspondantes sur le schéma ;*

tdp 1	*« Ce que je veux que vous fassiez, c'est que vous dressiez un bilan des forces exercées sur le piston »*
tdp 3	*« Vous faites un bilan des forces, vous faites ça sur une feuille, on commence par ça, un bilan des forces exercées sur le piston, pas le corps, le piston, d'accord ? Ce que je veux, c'est un bilan des forces exercées sur le piston »*

- *A.1,2.t3. Vérifier que la modélisation de l'objet d'étude est conforme à la première loi de Newton (fonctionnement de la loi dans un raisonnement Déductif-Nomologique)*

tdp 5	« il a schématisé les deux vecteurs, il a dessiné des longueurs comment, l'un par rapport à l'autre, c'est des longueurs aléatoires ? (…) Pourquoi est-ce qu'il peut affirmer que les forces se compensent ?»
tdp 7	*« Ici, c'est, on constate que c'est immobile, on en déduit d'après le principe d'inertie que les forces se compensent. »*

- *A.2.t4 : En cas de non conformité du modèle à la loi, réexaminer la modélisation de l'objet d'étude.*

Lors de ce court épisode, l'enseignant souhaite que les élèves formulent une conclusion à partir du constat de la non-conformité de la modélisation de l'objet d'étude à la première loi

de Newton. L'intervention de l'enseignant est ici implicite relativement à la technique à mettre en œuvre pour réaliser l'action élémentaire :

tdp 11	« Les forces ne se compensent pas, alors les forces ne se compensent pas toujours, le problème c'est, oui, le piston est immobile, donc, principe d'inertie, les forces doivent se compenser, conclusion, quelle conclusion là-dessus ? »

Cette non conformité imputée à un défaut dans la modélisation de l'objet d'étude suppose que la conformité à la loi est un passage obligé. Ce raisonnement est implicite dans cette partie, mais l'enseignant suppose vraisemblablement qu'il peut être compris par les élèves dans la mesure où la première modélisation (seringue seule) a fait l'objet d'un raisonnement déductif-nomologique analogue qui pose le principe d'inertie comme savoir de référence dans le raisonnement :

tdp 7	« Ici, c'est, on constate que c'est immobile, on en déduit d'après le principe d'inertie que les forces se compensent. »

Séquence B : Modélisation « bathygène » : modéliser un concept macroscopique (force de pression) à partir d'un modèle microscopique (modèle du gaz parfait) établi.

- *B.1.t1. Définir qu'un gaz est constitué d'atomes ou de molécules qui se déplacent de manière aléatoire.*

tdp 31	*«* Il faut me dire maintenant, à essayer d'expliquer ce qui dans l'air peut créer une force *»*
tdp 35	*«Un gaz c'est formé d'atomes qui (…) du point de vue du mouvement, ils sont libres de bouger comme ils veulent.»*

- *B.1.t2. Représenter les déplacements aléatoires des constituants du gaz (points associés à des vecteurs vitesses) à l'intérieur du piston.*

tdp 36	*«* Dans un gaz les molécules peuvent bouger les unes par rapport aux autres. (…) On va se représenter ce qu'il y a là-dedans. On a des molécules. Comment se représenter des molécules ? Comment visualiser un peu ça, concrétiser ? *»*

- *B.1.t3. Représenter les constituants du gaz qui viennent heurter le piston.*

tdp 44	« Les molécules se déplacent dans un gaz. C'est ça (in)[40] dans notre représentation. Dans un gaz les molécules se déplacent. Alors, qu'est-ce que ça va faire si elles se déplacent ?»
tdp 46	*« On a des molécules qui se déplacent un peu dans tous les sens. En se déplaçant comme ça, certaines molécules viennent frapper le piston. »*

- *B.1.t4. Considérer que chaque fois qu'un constituant du gaz vient heurter la paroi, il*

[40] Le terme (in) = inaudible, présent quelquefois dans la transcription des interactions, indique que nous n'avons pas tout entendu, surtout de la part des élèves, et qu'un ou deux mots manquent dans la phrase retranscrite.

exerce une action mécanique.

tdp 46	« En se déplaçant comme ça, certaines molécules viennent frapper le piston. Ça ça peut expliquer, c'est une façon d'interprétation, une description qui permet d'interpréter qu'il y ait une force sur le piston »
tdp 46	*« Les molécules du gaz en se déplaçant, viennent frapper le piston. Donc elle exercent une force dessus. La force ici, c'est la force exercée par l'air sur le piston. »*

- *B.1.t5. Induire le sens de la force macroscopique inconnue à partir du sens de l'action microscopique*

tdp 46	« Les molécules du gaz en se déplaçant, viennent frapper le piston. Donc elles exercent une force dessus. La force ici, c'est la force exercée par l'air sur le piston. »

Séquence C : Comparer deux modèles du point de vue de leur prévision ; en cas de contradiction, réexaminer la modélisation de l'objet d'étude.

Il s'agit de comparer la prévision donnée par deux modélisations qui reposent toutes les deux sur la mécanique, mais l'une à l'échelle macroscopique, et l'autre à l'échelle microscopique. Ces deux modélisations prévoient toutes les deux des forces de pression en jeu, mais dont les sens sont opposés.

- *C.1.t1. Comparer le sens de la force inconnue prévu par la première loi de Newton à celui prévu par le modèle microscopique.*

tdp 46	P : « Tout va presque bien sauf que la force qu'on a dessiné par là, alors que la force dont je viens de parler elle est, obligatoirement, dans ce sens là. Elle vient frapper le piston comme ça donc la force qui vient frapper l'air à l'intérieur, elle est pas comme ça, elle est dirigée dans l'autre sens.. »
tdp 46	*P : « Le principe d'inertie, si on l'applique, il nous dit que pour l'appliquer, ce serait bien qu'on ait une force F' dirigée par là. On se casse la tête pour avoir une force, et on la trouve dans l'autre sens. »*

Les élèves sont supposés partir de l'idée que ni le principe d'inertie, ni la représentation à partir du modèle microscopique du gaz de la force de pression qu'exerce le gaz à l'intérieur de la seringue sur le piston ne sont en défaut : donc le problème vient du bilan des forces macroscopiques s'exerçant sur le piston. Cela impose la nécessité de prendre en compte une autre action mécanique sur le piston de la seringue, celle exercée par l'air à l'extérieur de la seringue. On peut comprendre ce raisonnement comme un contrôle de la modélisation effectuée de l'objet d'étude (le bilan des forces) par un élément théorique (le principe d'inertie ou première loi de Newton). Mais d'un point de vue épistémologique, il n'y a pas a priori de raison de penser que la modélisation de l'objet d'étude effectuée à l'échelle macroscopique est à remettre en cause plus que celle effectuée à l'échelle microscopique, à moins de postuler que l'on tient l'un comme satisfaisant et que l'on met l'autre en question, et vice versa.

Ce raisonnement est capital à ce moment là de la séance, mais son développement est occulté : la technique de formulation d'hypothèse à mettre en œuvre pour réaliser, voire seulement pour comprendre la réalisation de cette tâche est totalement implicite et

entièrement à la charge des élèves, même si c'est un élève qui donne la réponse correcte à la problématique posée (ex : « il y a l'air de l'extérieur »). En définitive, les interactions ne permettent d'identifier que le résultat de ce processus et non son déroulement.

- *C.1.t2. (raisonnement implicite) Compte tenu que la première loi de Newton et le modèle microscopique des gaz sont incontestables, faire l'hypothèse d'une autre force macroscopique à prendre en compte dans le bilan réalisé dans le cadre de la mécanique de Newton*

tdp 46	E : « Il y a l'air de l'extérieur. »
tdp 48	*P : « Il y a l'air de l'extérieur. Donc l'air de l'intérieur, par les chocs, il exerce une force dans ce sens là, (in) air de l'extérieur, OK »*

Les techniques réinvesties à partir de ce moment-là sont analogues à celles qui ont été utilisées lors de la séquence A (techniques A.1.2.t3 et A.2.t4) :

- *C.2.t1. Faire un schéma du dispositif*
- *C.2.t2. Faire un bilan des actions mécaniques sur le piston et représenter les forces correspondantes sur le schéma ;*
- *C.2.t3. Vérifier que la modélisation de l'objet d'étude est conforme à la première loi de Newton.*

tdp 48	P : « Alors maintenant, vous essayez à nouveau de faire un schéma qui puisse correspondre au fait qu'avec le principe d'inertie, les forces dans cette situation doivent se compenser. »
tdp 48	*P : « Alors je la trace. Alors il faut pas oublier, qu'en la traçant, on doit pouvoir respecter le fait qu'il y a le piston immobile, donc d'après le principe d'inertie, la somme des forces est nulle, les forces se compensent.»*

Séquence D : Expliquer, interpréter un phénomène à partir d'un modèle théorique

Cette séquence peut être séparée en deux : une séquence de définition du modèle microscopique des gaz appelée D.1. et une séquence (nommée D.2.) consacrée à proprement parler à l'interprétation du phénomène de mélange de deux gaz à l'aide du modèle précédemment décrit en D.1. Seule la seconde nous intéresse ici dans la mesure où elle constitue le moment de l'étude dans cette séquence. Cette interprétation porte ainsi sur l'observation d'un mélange de deux gaz présenté par l'enseignant (tdp 57)

Les techniques qu'elle nécessite peuvent être déclinées en deux temps :

- *D.2.t1. Représenter dans le schéma de deux enceintes séparées par une paroi (V1 et V2) des atomes de type x et des atomes de type y, tous en déplacement à grande vitesse et dans toutes les directions ;*

tdp 62	P : « *On fait un schéma pour essayer de concrétiser ça, et donc il faut essayer de représenter ce truc-là, le gaz est formé de molécules se déplaçant à grande vitesse. Il faut faire sur le schéma quelque chose qui nous permette de visualiser ça, des molécules se déplaçant à grande vitesse, il faut dessiner ça, se débrouiller pour faire un dessin qui permette de visualiser ce truc-là*»
tdp 65	*P : «* Donc vous dessinez des molécules. Alors dans le flacon de dibrome, on a les molécules qu'on va représenter d'une couleur pour les différencier de celles de l'air.*»*

- *D2.t2. Dans un schéma d'une enceinte identique à la précédente dans laquelle il n'y a plus de paroi de séparation, représenter des atomes x qui pénètrent librement dans la partie V1 et des atomes de type y qui pénètrent dans la partie V2.*

tdp 57	P : « puisque les molécules à l'intérieur se déplacent dans tous les sens, donc elles vont remplir tout le flacon. »
tdp 65	*P : « ces molécules, qu'est-ce qu'elles vont faire, dès qu'on ouvre la porte, hop, elles montent, mais il y a quand-même quelque chose qui ne va pas là-dedans, elles sont dans tous les sens, sinon, on ouvre la porte, elles montent, et il n'y a plus personne dans le premier bocal, ce qui est faux, il en reste, donc elles ont des vitesses qui sont dans tous les sens, par là, vers le haut, vers le bas, comme vous voulez, il faut des flèches »*

Séquence E : Cette séquence en fin de séance reprend, complète et précise un certain nombre d'éléments qui ont été abordés jusque-là au cours de la séance sur la modélisation de la grandeur macroscopique « force de pression » par le modèle microscopique du gaz parfait. Deux types de tâches (a. et b.) sont identifiés pour cette séquence : « Modéliser un concept macroscopique à l'aide d'un modèle microscopique » et « vérifier par l'expérience la pertinence du modèle ». Nous avons séparé un peu artificiellement ces deux sous-tâches pour mettre en évidence l'aspect expérimental, considérant toutefois que ce dernier est une partie constitutive du processus de modélisation, dans la mesure où nous considérons qu'un modèle est reconnu comme tel s'il est confronté à des faits[41].

E.a. Modéliser un concept macroscopique à l'aide d'un modèle microscopique

Pour être réalisée, cette modélisation nécessite un grand nombre de techniques que l'enseignant développe sans en faire des tâches prescrites bien lisibles, mais dont certaines ont été déjà mobilisées précédemment :

- *E.a.1.t1. Représenter les déplacements aléatoires des constituants du gaz (points associés à des vecteurs vitesses) à l'intérieur d'une enceinte*
- *E.a.1.t2. Représenter les constituants du gaz qui viennent heurter un élément de surface de la paroi de l'enceinte.*

Ces techniques ont déjà été utilisées précédemment à plusieurs reprises.

tdp 70	P : «Alors maintenant on représente ça ici, alors imaginons qu'on ait, on va commencer à faire des dessins avec des, une surface, une paroi, et puis, pour un élément de paroi, et je prends un gaz qui a ici, alors, cette paroi ici, alors ça représente quoi, un machin (in.), je l'ai fait sous forme circulaire, j'aurais pu (in.). Je lui donne une épaisseur à la paroi, pour

[41] Nous sommes partis de l'idée que nous pourrions identifier dans des séances des activités de modélisation qui ne conduisent pas à des validations expérimentales, pour des raisons légitimes diverses, telles que la durée de la séance.

	que je voie bien que c'est une paroi. C'est ça, vu en perspective. Vous avez d'un côté un gaz. De l'autre côté, il peut aussi y avoir un gaz peu importe, celui qui m'intéresse c'est celui de ce côté-là. Alors on essaye de lier ça avec l'interprétation microscopique. Qu'est-ce qui fait la force ? Il y a des molécules qui arrivent comme ça, qui viennent frapper sur la paroi.. »

- *E.a.1.t3. Considérer que chaque fois qu'un constituant du gaz vient heurter la paroi, il exerce une action mécanique microscopique.*

tdp 70	P : «on a un très grand nombre de molécules qui arrivent et qui rebondissent. Ça va dans tous les sens, on met un trait (in.). Ça ça donne un (in.) d'une couleur, ça donne quoi, ça donne un force pressante sur la paroi. C'est l'ensemble des chocs qui va à un instant donné créer cette force. Donc ça donne, la force je la représente par une flèche, donc cette flèche elle va être dirigée de où vers où ? Alors là c'est en perspective, c'est censé être ça, l'air est ici et le gaz est là. La force pressante elle va être : comme ça. (in.) le représenter, elle part de là, la somme des forces, alors toutes les forces s'exercent un petit peu sur toute la surface.. »

- *E.a.1.t4. La force macroscopique est la résultante de la multitude des actions mécaniques microscopiques qui s'exercent sur une surface.*

tdp 70	P : «On fait la somme, ça donne une force dont le point d'application sera au centre de la surface, mais elle est dirigée par là-bas, (in.) comme ça. Des pointillés au début, ça ce voit pas, mais que les forces pressantes F comme ça… plus ou moins… c'est pas extraordinaire, j'ai fait un peu incliné… Donc c'est une force qui est dirigée… donc c'est la résultante des forces microscopiques.. »
tdp 72	P : « *Avec le dessin qu'on a représenté, ça vient, ça rebondit, comme ça, et tel que je l'ai représenté, en rebondissant, c'est un peu comme quand on représente ça, avec l'idée qu'on a d'une balle et qu'elle rebondit. Si vous la lancez comme ça, elle va rebondir comme ça, c'est-à-dire avec un angle (in.) qui sont égaux. Si je la lance là, elle rebondit comme ça, si je la lance comme ça elle rebondit comme ça. J'ai représenté le truc le plus simplement possible. Ça donnerait quoi comme force exercée, qu'elle rebondisse comme ça ; elle serait comment comme direction la force exercée par la balle (in) ? Il faudrait qu'elle soit sur la normale* ».

- *E.a.2.t1. Représenter les actions microscopiques du gaz sur un élément de surface quelconque, puis sur un élément de surface double de la première, puis triple ; les atomes du gaz exercent une force pressante qui double puis*

triple avec la surface de la paroi.

tdp 74	P : «cette force pressante, elle va dépendre de la surface sur laquelle elle s'exerce (...) ça veut dire quoi dépendre de la surface ? Si la surface est modifiée, la force est modifiée, c'est ça dépendre (…)on imagine qu'on augmente la surface. Qu'est-ce qui va se passer pour la force… elle va augmenter… qu'est-ce qui vous incite à penser qu'elle va augmenter, oui, il va y avoir plus de chocs, vous augmentez la surface, il va y avoir plus de chocs, donc la force va augmenter, la force dépend de la surface, elle va augmenter »
tdp 74	*P : «* on aimerait bien aller plus loin, aller plus loin c'est quoi ? C'est pouvoir trouver une relation (…) *»*
tdp 79	*E : Si on double la paroi*
tdp 84	*P : C'est bon on a montré que si on double la surface, la force est doublée ? Bon très bien, eh bien maintenant je vais montrer qu'on la triple, regarde… Toi, tu montres qu'on la double, moi je montre qu'on la triple. Non, on conserve deux fois la surface et je montre qu'on la triple. Je dessine une flèche trois fois plus grande.*

- *E.a.2.t2. Conclure par induction que la force de pression est proportionnelle à la surface sur laquelle elle s'exerce.*

tdp 89	P : «s'il exerce sur une grande surface une grande force, une petite surface, une petite force, mais c'est quand même le même gaz, qu'on prend dans les mêmes conditions. Donc on voudrait quelque chose qui le caractérise lui tout seul, sans parler de la surface. Alors là, du fait que la force pressante est proportionnelle à la surface, on a du point de vue mathématique, on peut utiliser ça, en utilisant le rapport de la force sur la surface. Si F et S sont proportionnels, qu'est-ce qu'on peut on dire du rapport… » E : « il est constant »
tdp 74	*P : « on aimerait bien aller plus loin, aller plus loin c'est quoi ? C'est pouvoir trouver une relation (…) »*

E.b. Vérifier par l'expérience la pertinence du modèle

- *E.b.1.t1. Vérifier la cohérence entre les phénomènes observés et les prévisions données par le modèle*.

tdp 72	Description du fonctionnement d'une capsule manométrique. P : «Pour mesurer la pression, on prend une capsule qui possède une membrane. Le gaz

	va appuyer sur la membrane et avec ça on peut mesurer (in.) une pression. Quand je plonge la membrane, elle a une forme comme ça, le gaz appuie sur la membrane et je mesure la pression. Là, la force pressante, en ce point là, elle va être dirigée comme ça. Maintenant, si je met la même capsule comme ça, et placée au même endroit, la force pressante elle a plus la même direction, elle est perpendiculaire à la paroi sur laquelle elle s'exerce, (in.) comme ça. Cette force pressante en un point du gaz, sa direction elle dépend de la paroi, de l'inclinaison de la paroi (in.).»
tdp 72	*Expérience de monstration de la direction des forces de pression.* *P : « On a une sphère ici qu'on a remplie d'eau et il y a des trous. On la remplit d'eau et on va exercer une pression sur l'eau. C'est plus un gaz, c'est un liquide, ç'est pas tout à fait pareil quand même, mais on peut aussi créer des forces pressantes avec ça, et on va regarder la direction du jet d'eau qui sort des trous qu'on a créés là. Vous avez une sphère (in.). (…) et on va regarder la direction des jets d'eau quand ils sortent pour avoir une idée de la direction de la force pressante, puisque elle appuie sur les gouttes d'eau, elle les fait sortir, donc elle va leur donner une direction au départ qui sera celle de la force. Donc, on va se contenter de ça et admettre le résultat : la force pressante est toujours perpendiculaire à la paroi sur laquelle elle s'exerce (rép.). »*

Ce type de validation empirique d'un modèle est singulier, voire discutable : l'enseignant décrit, en s'appuyant sur un schéma, le fonctionnement d'une capsule manométrique pour illustrer le sens de la force de pression à laquelle elle est sensible. Cette description ne vient en aucun cas valider le modèle construit auparavant puisqu'elle concerne le fonctionnement d'un appareil, et reste vraisemblablement énigmatique pour des élèves qui n'ont jamais utilisé cet instrument.

L'enseignant réalise ensuite une expérience réalisée avec un ballon de baudruche rempli d'eau. Les élèves doivent observer que l'eau s'écoule par des trous de ce ballon en constituant des jets de directions perpendiculaires à la surface du ballon au niveau des trous d'évacuation. Cette expérience, venant à la suite de la partie du modèle de la force pressante qui en définit la direction, en constitue une forme de validation. Mais la nature du fluide utilisé (l'eau) suppose que l'eau et les gaz se comportent de la même manière en la circonstance, et ceci constitue une hypothèse implicite dans cet épisode.

3.3 Analyse du discours

3.3.1 Concepts épistémologiques attendus : modèle et modélisation

Concept et occurrence du concept : Modèle (19 occurrences)

Objet / sens du concept de modèle	*Nombre d'occurences*	*séquence*	*tour de parole*	*Exemples d'extraits significatifs du corpus*	*Niveau d'explicitation*
Morceau d'une théorie	*13*	*D,E*	*50,52,57,58,62,65,67,68,72,86*	*On a essayé de comprendre avec le modèle des molécules à l'intérieur de l'air comment cette force pouvait s'exercer* *pour ça il a fallu qu'on bâtisse, qu'on utilise un modèle moléculaire d'un gaz* *On va noter les résultats (in.) dans le modèle avant l'analyse des situations différentes : un gaz est formé de molécules…* *Donc voilà le modèle du gaz* *On va interpréter ça avec l'agitation moléculaire, le modèle moléculaire qu'on vient de voir*	*E2*
Représentation -description d'un objet d'étude	*1*	*D*	*50*	*dans le modèle que l'on est en train de faire*	*E2*
Simplification du réel	*2*	*E*	*70,72*	*On va faire le modèle le plus simple possible*	*E2*
Fonction : comprendre, interpréter, raisonner	*8*	*D,E*	*52,58,62,65,67,72,86*	*Le modèle nous permet de comprendre ce qui se passe* *On a essayé de comprendre avec le modèle des molécules à l'intérieur de l'air comment cette force pouvait s'exercer* *On va interpréter ça avec l'agitation moléculaire, le modèle moléculaire qu'on vient de voir* *Alors on peut essayer de réfléchir avec le modèle moléculaire* *ici, on a une explication, on a une interprétation avec le modèle moléculaire*	*E2*
Représenter le modèle, schématiser pour	*3*	*D*	*60,62,65*	*On va représenter le modèle moléculaire* *C'est un schéma qui sert à montrer que notre modèle moléculaire permet de comprendre ça*	*E2*

comprendre

L'analyse de ce que dit et soutient cet enseignant en classe en relation avec les notions de modèle et de modélisation nous permet d'avoir un aperçu limité à cette séance de la composante publique de son rapport aux objets « modèles » et « modélisation » :

Pour cet enseignant, un modèle est un morceau de théorie et peut être représenté, schématisé, de manière à comprendre, raisonner, interpréter un phénomène dans une approche bathygène (pour expliquer le concept de force de pression macroscopique). Modéliser est aussi une manière de schématiser le réel en le simplifiant dans le but de le comprendre.

Plus précisément, le terme de modèle est le plus souvent (13 occurrences sur 19) associé dans le discours de l'enseignant à un contenu particulier que constitue le «modèle du gaz » (niveau d'explicitation e2). Ainsi, la désignation du concept de « modèle » est associé à un contenu particulier concernant les gaz, mais sans généralisation de la notion à partir de cet exemple, et sans que cette catégorie renvoie à d'autres catégories du même type (modèle de l'atome, modèle du pendule simple, etc.), fermant par là la possibilité de généralisation du concept par dé-contextualisation du cas du gaz.

De plus, selon les propos de l'enseignant, le modèle peut faire l'objet d'une représentation, d'une schématisation. Ceci confirme l'interprétation selon laquelle l'enseignant considère que le modèle est un morceau de théorie établie, un savoir établi, et que ce savoir se nomme « modèle », ce qui par rapport à nos références en fait un élément appartenant à une théorie, mais sans que soit précisée l'inclusion du premier dans la seconde, ou tout au moins la moindre étendue du domaine de réalité sur lequel porte le premier par rapport à la seconde. De ce point de vue, le modèle du gaz renvoie à son contenu, en tant que savoir établi comme de nombreux autres savoirs à apprendre en classe, avec la particularité de porter le nom de « modèle ».

Si le modèle en tant que savoir établi peut être représenté, une autre acception du terme de modèle est qu'il s'agit en soi d'une représentation, une description d'un domaine de réalité,

produit par une activité de modélisation. Le modèle en tant que représentation du réel procède par schématisation et par simplification de ce dernier.

Enfin, un modèle sert à comprendre et raisonner sur le réel observé, constitue un instrument d'intelligibilité du réel. Cela dit, toutes les occurrences du concept de modèle sont de niveau e2, donc restent contextualisées au cas de la physique des gaz.

3.3.2 En relation avec d'autres concepts épistémologiques

Quatre concepts de l'épistémologie autres que ceux de modèle et modélisation sont présents dans le discours de l'enseignant : celui de phénomène (2 occurrences), d'expérience (3 occurrences), d'observation (1 occ.) et d'hypothèse (1 occ.).

Phénomène :

Le sens que l'enseignant attribue au concept de phénomène est celui de cause matérielle qui permet d'identifier une force mécanique, et cette cause matérielle est en l'occurrence « *le modèle des molécules à l'intérieur de l'air* » qui du point vue épistémologique appartient au monde des théories (tdp 50,68). Si l'utilisation de la terminologie de « phénomène » par l'enseignant pose problème ici pour nous, elle est toutefois cohérente avec la volonté de l'enseignant d'insister auprès des élèves (tdp 10) sur la nécessité de faire prendre en compte dans le bilan de forces en mécanique uniquement les forces pour lesquelles on identifie un « objet », un élément matériel qui est à l'origine de cette force et qui en constitue la cause : ainsi, la cause de la force de pression est l'élément matériel que constitue l'air (tdp 14-19) et le modèle microscopique de l'air est ce qui dans l'air explique la force de pression (tdp 29,31).

Dénomination (occurrence du concept)	Phénomène (2)
Objet ou sens de la désignation	Cause, élément matériel l'origine de la force de pression
Nbre d'occurrences en lien avec le sens de la désignation	2
séquence	C, E
Tour de parole	50,68
Exemples d'extraits significatifs du corpus	*tdp 50 :* *Alors vous remarquerez que les forces qu'on introduit, on essaye de suivre ce qu'on avait indiqué, c'est-à-dire de trouver quel est en quelque sorte le responsable matériel de ça, c'est l'air, bon, et on essaye de comprendre comment cette force, de la nommer précisément, c'est-à-dire en même temps, de trouver le phénomène physique en cause. Quand on a commencé à parler de force de l'air, tant qu'on dit force de l'air, si on comprend pas, si on peut pas la rattacher aux grandes forces qu'on connaît, ça reste trop vague. Donc on a essayé de comprendre avec le modèle des molécules à l'intérieur de l'air comment cette force pouvant s'exercer. Donc on a (in) ça donc on peut employer le mot force pressante.* *tdp 68 :* *P : Le phénomène physique, expliquer à quoi est due cette force pressante, (in.) ? Donc à quoi est due cette force pressante ? oui, déplacement des atomes et des molécules dans un gaz, est-ce que c'est, vraiment, il y a un déplacement qui est derrière mais la force sur la paroi elle est créée par quoi ?* *E : par les chocs* *P : par les chocs des molécules su gaz sur la paroi*
Niveau d'explicitation du sens du concept	e2

Expérience :

Le concept d' « expérience » est évoqué à deux reprises au cours de la séance en relation avec un dispositif destiné à montrer des phénomènes. Les phénomènes observés valident en quelque sorte des hypothèses (l'expérience de la vessie trouée valide l'hypothèse relative à la direction des forces de pression construite à partir du modèle microscopique) ou sont interprétés à l'aide du modèle microscopique des gaz (expérience du mélange de deux gaz).

Toutefois, il s'agit dans les deux cas d'expériences prototypiques dites « de monstration » pour « observer » le savoir de la physique à apprendre, et pour lesquelles le protocole n'a pas été élaboré en classe.

La troisième acception identifiée de ce concept est celle de représentation du dispositif expérimental utilisé pour le mélange des gaz et de l'interprétation des observations à l'aide du modèle microscopique des gaz. L'enseignant inscrit au tableau le mot d' « expérience » et représente au-dessous l'ensemble des flacons utilisés pour cette expérience, ainsi que le déplacement des molécules à l'intérieur des flacons pour expliquer ce qui est observé.

Ces trois acceptions du terme d'expérience sont associées à un niveau d'explicitation e1, car à aucun moment l'enseignant ne précise à quoi renvoie ce terme, et sa définition est laissée à la charge des élèves qui doivent associer ce qui est dit et fait en relation avec le terme utilisé.

Dénomination (occurrence du concept)	**Expérience (3)**		
Objet ou sens de la désignation	Manipulation d'un dispositif expérimental qui donne à observer un phénomène de mélange de deux gaz, phénomène destiné à être expliqué à l'aide de schémas mettant en œuvre le modèle microscopique des gaz.	Représentation au tableau du dispositif expérimental (flacons remplis de gaz) et du modèle microscopique des gaz pour expliquer le phénomène observé.	Manipulation d'un dispositif expérimental qui donne à observer la direction des forces de pression, comme validation de la prévision donnée par le modèle microscopique.
Nombre d'occurrences en lien avec le sens de la désignation	1	1	2
séquence	D	D	E
tdp	57	60	72
Exemples d'extraits significatifs du corpus	tdp 57 : *Pour montrer ça (le modèle du gaz), on peut faire une expérience qui montre ce qui se déplace, c'est ce qu'on appelle l'agitation moléculaire, l'agitation*	tdp : 60 Le mot « expérience » est noté au tableau. Il est suivi de schémas qui représentent les flacons utilisés pour l'expérience et les molécules de gaz en mouvement	tdp 72 : *On a une sphère ici qu'on a remplie d'eau et il y a des trous. On la remplit d'eau et on va exercer une pression sur l'eau. C'est plus un gaz, c'est un liquide, ç'est pas tout à fait*

	thermique.	désordonné dans les flacons.	*pareil quand même, mais on peut aussi créer des forces pressante avec ça, et on va regarder la direction du jet d'eau qui sort des trous qu'on a créés là.*
Niveau d'explicitation du sens du concept	e1	e1	e1

Hypothèse et Observation :

Les vocables d' « hypothèse » et d' « observation » sont explicites à deux reprises dans le discours de l'enseignant (tdp 5,7) et sont utilisés au même moment :

tdp 5	P : «: Il faut mettre ça dans le bon ordre, c'est extrêmement important pour le raisonnement qui est : qu'est-ce qu'il y a comme hypothèse, comme constatation, et qu'est-ce qu'on doit faire comme conclusion, oui ? »
tdp 7	*P : «* L'objet est immobile, donc d'après le principe d'inertie, les forces se compensent. Il faut bien faire attention dans les exercices et dans les devoirs qu'on a fais, vous avez toujours ce problème là, ça a tendance à être on met le principe d'inertie et puis les conclusions et les observations dont on part sont souvent pas à leur place. Ici, c'est, on constate que c'est immobile, on en déduit d'après le principe d'inertie que les forces se compensent *»*

Le vocable d' « observation » est utilisé dans le sens de « constatation », que l'on peut comprendre comme l'établissement par perception directe de la réalité du fait donné à voir. Celui d'hypothèse est utilisé (en référence au principe d'inertie) comme le savoir qui permet de conclure à partir de l'observation. Le rôle que l'enseignant fait jouer à l'hypothèse n'est pas semblable à celui de l'épistémologie contemporaine selon laquelle l'hypothèse est considérée comme une forme d'explication construite à partir d'un cadre théorique établi, et est en attente de validation par des faits. De plus, l'enseignant n'explicite pas que l'observation est guidée par l'hypothèse, que ce qui est constaté du réel dépend de ce que l'on considère important de regarder.

Toutefois, les deux concepts d'hypothèse et d'observation sont associés dans les tours de

parole 5 et 7 à un raisonnement logique que l'enseignant généralise comme une méthode à appliquer à toutes sortes de cas similaires « dans les devoirs » : quelle est l'hypothèse, quelle est l'observation, que conclut-on ? Autrement dit, si la notion d'observation est explicitée par l'enseignant concomitamment à celle d'hypothèse, et que les deux notions sont généralisées comme constituant un raisonnement, nous pouvons supposer éventuellement que les élèves l'entendent ainsi et que la pratique de ce raisonnement les conduira à observer ce qui est en relation avec l'hypothèse, pour autant qu'en l'absence d'une définition claire ils parviennent à identifier dans un autre contexte ce qui joue le rôle d'hypothèse.

Dénomination (occurrence du concept)	**Observation - observer (2)**	**Hypothèse (1)**
Objet ou sens de la désignation	Constatation et composante du raisonnement « hypothèse, observation, conclusion » Composante d'une méthode de raisonnement à appliquer notamment dans les devoirs L'objet est immobile, donc d'après le principe d'inertie, les forces se compensent	Statut de modèle théorique ou de loi ; en lien avec observation et conclusion Composante d'une méthode de raisonnement à appliquer notamment dans les devoirs. L'analogie entre hypothèse et principe d'inertie est à la charge implicite de l'élève. Explicitation d'un raisonnement métanomologique
Nombre d'occurrences en lien avec le sens de la désignation	1	1
séquence	A,D	A
tdp	7, 58	5
Exemples d'extraits significatifs du corpus	*tdp 5 : Il faut mettre ça dans le bon ordre, c'est extrêmement important pour le raisonnement qui est : qu'est-ce qu'il y a comme hypothèse, comme constatation, et qu'est-ce qu'on doit faire comme conclusion ?* *tdp 7 : Il faut bien faire attention dans les exercices et dans les devoirs qu'on a fait, vous avez toujours ce problème là, ça a tendance à être on met le principe d'inertie et puis les conclusions et les observations dont on part sont souvent pas à leur place. Ici, c'est, on constate que c'est immobile, on en déduit d'après le principe d'inertie que les forces se compensent.*	
Niveau d'explicitation du sens du concept	e3	

3.3.3 Synthèse - Comparaison des deux niveaux d'analyse

Cette séance est caractérisée par le fait qu'il n'y a pas de tâche visant à travailler des savoirs épistémologiques spécifiquement (analyse critique sur l'activité scientifique en classe par exemple). Toutes les tâches en jeu concernent la modélisation d'un objet d'étude dans le cadre de la physique ou l'utilisation d'un modèle de la physique particulier pour expliquer, prévoir, comprendre des phénomènes ou des concepts physiques à d'autres échelles (causalité bathygène).

Cependant, ces types de tâches qui renvoient à l'activité de la physique ne sont pas mentionnées, désignées, ou explicitées en tant que telles par l'enseignant au cours de la séance. Ils résultent d'une reconstruction que nous avons réalisée, en passant par une analyse plus fine à la fois en termes de temps et de granularité des tâches. Chaque type de tâche est une généralisation d'une tâche ou d'un ensemble de deux ou trois sous-tâches. Dans tous les cas, une tâche nécessite la mise en œuvre d'un ensemble de techniques, comme autant d' « actions élémentaires » à mettre en œuvre pour la réaliser. C'est à ce niveau des techniques uniquement que l'enseignant intervient dans la conduite de l'étude : ses propos visant à guider le travail des élèves portent directement sur les techniques à mettre en œuvre pour réaliser ces tâches et non directement sur les tâches à réaliser.

Le savoir épistémologique n'est pas travaillé dans la classe ni à travers des tâches qui portent sur l'analyse de l'activité scientifique, ni à travers des tâches qui portent précisément sur ce qui caractérise l'activité scientifique, mais implicitement à travers des groupes de techniques élémentaires à la réalisation de ces tâches. Tant et si bien que le lien entre ces groupes de techniques et les tâches auxquelles ils répondent sont à la charge de l'élève. Modéliser est ainsi une tâche difficile pour un élève parce qu'il ne peut discerner que la pluralité des techniques qu'il est en train de mettre en œuvre ont une visée plus générale relative à la modélisation. Ainsi un élève ne pourrait lui-même réaliser une modélisation à partir de ce qu'il apprend au cours de cette séance que dans la mesure où modéliser

nécessite l'adoption d'un cadre théorique, d'éléments de modélisation, et de mettre en cohérence l'ensemble de ces techniques.

La praxéologie relative au modèle ou à la modélisation prennent uniquement la forme de praxéologies didactiques relatives à des modèles de la physique : c'est à travers des activités de modélisation ou d'utilisation de modèle à des fins de prévision ou d'interprétation que la réalité implicite du modèle et de la modélisation est construite dans la classe. Les élèves doivent comprendre implicitement que ce qu'il est en train de se produire en classe relève de l'activité scientifique : ils doivent associer un concept énoncé par l'enseignant (modèle, mais aussi observation, hypothèse, etc.) à ce qui est dit en rapport avec ce concept. Nous inférons de cela que la praxéologie didactique de l'enseignant relative à la modélisation consiste à juxtaposer la dénomination du concept de modèle à ce qui est fait et dit en relation avec ce concept à propos de savoirs divers de la physique. Nous pourrions faire l'hypothèse suivante à propos du logos qui sous-tend cette praxis didactique : pour cet enseignant, apprendre ce qu'est l'épistémologie consiste à examiner ce qui se passe en classe, écouter ce que dit et fait l'enseignant à propos de la physique, en la décontextualisant de la spécificité de chacun des savoirs en jeu. Cela dit, regarder l'enseignant pratiquer la physique en classe pour apprendre l'épistémologie revient à considérer que l'activité d'enseignement de la physique en classe s'apparente à l'activité scientifique. Si la science est ce qui se fait en classe, il n'y a plus d'enseignement dans le sens de transposition de savoirs mais une confusion des institutions « enseignement-apprentissage de la physique en classe » et « activité de recherche scientifique».

Le rapprochement des analyses aux deux échelles fait apparaître une singularité notable : les tâches de modélisation ou d'utilisation de modèle occupent toute la séance. Les séquences A, B et C portent sur la modélisation d'objets d'études du point de vue de la mécanique de Newton, et les séquences D et E concernent la modélisation de la force de pression macroscopique par le modèle microscopique des gaz.

Or, l'analyse à l'échelle microscopique montre que le terme de modèle ou de modélisation

n'est pas prononcé dans les séquences A, B et C, soit pendant plus de 36 minutes. De plus, le terme de « force » en physique présent dans les interactions dans la séquence A (tdp 8) est utilisé confusément avec une signification qui appartient à la fois au registre de la théorie de la mécanique et à celui de l'empirique :

> *P : « Donc moi je tire là-dessus et il sent le sens de la force alors vas-y ! Qu'est-ce que tu vas faire ? Alors tu dois tirer sur le piston, donc tu dois exercer une force et dans quelle direction et quel sens ?*

La force n'est pas considérée ici comme une représentation d'une forme d'interaction mécanique, mais l'interaction elle-même. L'entretien qui suivit immédiatement la séance permit de comprendre que l'enseignant accordait à ce concept un statut tout à fait « réaliste » en tant qu' « objet sensible », ceci pour la raison qu' « *identifier des repères considérés comme pouvant être appréhendés de manière sensible pendant un tel développement*, *constitue* selon l'enseignant, *une aide à la compréhension* ».

En revanche, le terme de modèle et de modélisation apparaît dans les séquences D et E où est impliqué le modèle microscopique des gaz. Ceci est toutefois cohérent avec le programme et les intentions de l'enseignant : montrer comment à partir du modèle microscopique, on explique la force de pression macroscopique.

Enseignant B

Verbatim de la séance	Annexe 1 p. 43
Niveau d'enseignement	Seconde générale
Partie du programme	Physique des gaz : *« l'air qui nous entoure »*
Place dans la séquence	3ème séance

1 Analyse a priori

1.1 Les intentions de l'enseignant

Les deux séances observées font partie d'une progression qui s'étend sur l'année et qui permet aux élèves de revenir périodiquement sur la question de l'utilisation des modèles en science.

Le premier objectif est un objectif récurrent chez cet enseignant : sa formulation est très générale et dépasse le contexte de ce thème. Les élèves doivent parvenir à « *marquer le décalage qu'il peut y avoir avec la description de la vie de tous les jours de la même situation, puis marquer le fait qu'on va mettre en place des outils conceptuels et que le travail des élèves va être de faire des liens entre ce qu'ils observent, ce qu'ils voient, ce qu'ils touchent et des outils conceptuels qui ont été vus antérieurement ou qu'ils sont en train de découvrir*. »

La contextualisation de cet objectif aux savoirs de la physique du thème consiste à demander aux élèves « *de proposer une situation d'étude qui permet (…) d'approfondir un modèle* » qualitatif très général sur lequel ils ont déjà travaillé pour obtenir un modèle

quantitatif. A cette fin, les élèves disposent de 4 relations, et ils doivent construire un moyen d'étudier expérimentalement la relation entre la pression et le volume d'un gaz pour sélectionner une de ces 4 relations ; cela passe notamment par l'élaboration d'un protocole. Cette démarche hypothético-déductive est essentielle pour l'enseignant du point de vue de ce qu'il veut faire comprendre du fonctionnement de la physique à ses élèves. De plus, dans toute cette séance, et même au-delà de cette séance, c'est l'objectif sur le « fonctionnement de la physique » qui va structurer l'activité.

D'autres objectifs sont visés simultanément :

- les élèves doivent apprendre à « *avoir des éclairages macro et des éclairages micro sur une même situation* » ce qui signifie interpréter les mêmes situations empiriques avec des modèles macroscopiques et des modèles microscopiques.
- Ils doivent apprendre à interpréter une grandeur physique macroscopique à l'aide du modèle microscopique
- Ils doivent étudier le décalage entre un modèle et les résultats expérimentaux en utilisant pour cela un simulateur.

2 Analyse de la séance

Cette séance comprend 1 heure d'enseignement le jour J en classe entière et 1 h 30 d'enseignement en demi-classe le jour J+4. La première heure porte pour environ la moitié (23 min 40 sec) sur la correction d'un exercice en lien avec le thème de la physique des gaz, et pour moitié sur l'établissement d'un modèle quantitatif reliant les grandeurs physiques de la pression et du volume d'un gaz. Nos analyses sur la première séance ne portent que sur cette dernière partie qui contient les moments d'étude correspondants à nos questions de recherche.

2.1 Narration chronologique

La partie de la séance en classe entière qui nous intéresse et la séance en demi-classe portent globalement sur l'établissement d'une relation quantitative entre les variations de la pression d'un gaz et le volume qu'il occupe.

Séquence A (16'29) : L'étude en classe entière débute par quatre tâches que le suivi de la fiche de travail distribuée par l'enseignant impose :

- Enoncer comment évolue la pression d'un gaz dans une enceinte lorsque son volume diminue
- Distinguer la manière dont on parle du phénomène conjugué (diminution de volume / augmentation de pression) en physique et dans la vie courante.
- Interpréter le lien qualitatif entre pression et volume à l'aide du modèle microscopique des gaz et de l'interprétation microscopique du concept de pression » (*activité reprise plus tard, en début de séance en demi-classe)
- Vérifier à l'aide d'un simulateur la cohérence des prévisions entre un modèle macroscopique et un modèle microscopique

Séquence B (12'49) : Il s'agit durant cette séquence d'améliorer le modèle qualitatif élaboré en classe lors d'une séance précédente. Ce passage du qualitatif au quantitatif se décompose en 2 tâches distinctes, successives et complémentaires :

- sélectionner a priori des relations quantitatives probables parmi un choix de 4 relations proposées, en s'appuyant sur la relation qualitative élaborée lors d'une séance précédente et sur les modèles microscopiques que les élèves possèdent déjà (fournis précédemment par l'enseignant) (cf. doc Chapitre 3). (2 des 4 relations sont compatibles avec la relation qualitative qu'ils connaissent.)
- soumettre les relations quantitatives retenues a priori à validation par l'expérience. Ceci suppose deux sous-tâches : élaborer un protocole

expérimental, réaliser les mesures et les discuter.

La séance en classe entière s'achève sans qu'aucune des tâches décrites n'aient fait l'objet d'une institutionnalisation ou d'une mise en commun. Les élèves sont à ce moment là à des niveaux d'avancée différents dans la réalisation des tâches prescrites.

Séquence C (12'37) : La séance en demi-classe débute par la reprise de la tâche commencée au cours de la séance précédente (Interpréter le lien qualitatif entre pression et volume à l'aide du modèle microscopique des gaz et de l'interprétation microscopique du concept de pression)

Séquence D (13') : Cette séquence est caractérisée par une tâche spécifiquement épistémologique : il s'agit pour les élèves d'identifier par une réflexion a posteriori les différentes étapes qui ont jalonné la démarche de construction du modèle qualitatif entre la pression et le volume d'un gaz, selon que ces étapes appartiennent au « monde des théories et des modèles » ou à celui « des objets et des évènements » (ces deux « mondes » constituent le modèle épistémologique à partir duquel les élèves conduisent leur réflexion). Ils doivent à partir de cette analyse réflexive représenter sur un schéma le chemin effectivement suivi entre ces deux mondes.

Séquence E (33'50) : Cette partie de la séance reprend et continue nombre des tâches commencées au cours de la séance en classe entière (reprise du travail de sélection des relations quantitatives compatibles avec la relation qualitative connue, reprise du travail d'élaboration du protocole expérimental, reprise de la prise des mesures en rapport avec le protocole élaboré) auxquelles s'ajoutent un travail d'examen de la pertinence du dispositif expérimental fourni par l'enseignant. Enfin, la relation quantitative est discutée du point de vue de son domaine de validité et doit être située dans un des deux mondes du modèle épistémologique utilisé lors de la séquence précédente.

Séquence F (30'59) : la séance se poursuit avec une dernière activité qui consiste à réinvestir la démarche précédente pour déterminer les relations qualitative, puis quantitative (P/T = constante) qui décrivent l'évolution de la pression d'un gaz à volume constant quand on fait

varier sa température. La partie acquisition de données dans cette séquence est réalisée seulement à l'aide d'un simulateur.

2.2 Synopsis

séquence	Durée min'sec	tdp	Types de tâche	Tâches/sous-tâches	*τechnique*	Concept implicite	Concept explicite
A	16'29	82-103	**A. Utiliser le modèle qualitatif et l'interpréter à l'aide d'un modèle microscopique**. A.a. Distinguer la manière dont on parle d'un phénomène en physique et dans la vie courante. A.b. Interpréter une relation entre grandeurs macroscopiques à l'aide d'un modèle microscopique	A.a.1. Distinguer la manière dont on parle du phénomène conjugué (diminution de volume / augmentation de pression) en physique et dans la vie courante. A.b.1. Rappeler l'interprétation qu'on peut faire du lien qualitatif entre pression et volume à l'aide du modèle microscopique des gaz et de l'interprétation microscopique du concept de pression (*activité reprise plus tard, en début de séance en demi-classe). A.b.2. Vérifier à l'aide d'un simulateur l'interprétation du lien qualitatif entre pression et volume à l'aide du modèle microscopique des gaz et de l'interprétation microscopique du concept de pression	*A.b.1.t1. Définir qu'un gaz est constitué d'atomes ou de molécules qui se déplacent de manière aléatoire et viennent heurter les parois de l'enceinte dans laquelle il est contenu. L'action du gaz sur les parois est liée aux chocs de molécules. Pour une durée et une paroi données, plus il y a de chocs sur la paroi, plus la pression du gaz est grande. (Modèle connu)* *A.b.1.t2. Quand le volume diminue, le nombre de molécules par unité de volume augmente, et le nombre de chocs par unité de surface augmente également. La conclusion est une pression plus grande (technique inférée).* *A.b.2.t. Vérifier qu'en modifiant les paramètres caractéristiques du modèle microscopique (volume du contenant, nombre d'atomes, vitesse moyenne des atomes), les grandeurs macroscopiques varient dans le sens prévu par le modèle macroscopique*	Modèle Modélis°	Modèle Observ

séquence	Durée	tdp	Type de tâche	Tâches/sous-tâches	*τechnique*	Concept implicite	Concept explicite
B	12'49	104-164	**B. Améliorer un modèle (phase 1)** B.a. Sélectionner parmi plusieurs propositions relations entre grandeurs possibles décrivant l'état d'un système, celui(ceux) qui s'accorde(nt) à un relation qualitative élaborée précédemment. B.b. Soumettre une relation hypothétique entre grandeurs physiques à validation expérimentale.	B.a.1. Sélectionner parmi 4 propositions de relations quantitatives liant la pression d'un gaz et le volume qu'il occupe, celle qui est en accord avec le modèle macroscopique qualitatif connu. B.b.1. Elaborer un protocole expérimental permettant de soumettre à validation les deux relations sélectionnées lors de la tâche précédente (P.V=cte et $P.V^2$=cte).	*B.a.t. Faire varier qualitativement une des grandeurs impliquées dans les relations quantitatives (choisir plusieurs valeurs de volume (V, 2.V, 3.V)), et conclure quant à la variation de l'autre grandeur. Regarder la cohérence de ces variations relatives avec le modèle qualitatif.* *B.b.1.t. Indiquer quelles grandeurs décrivant l'état d'un gaz doivent rester constantes pour faire cette étude.*	Modèle Experim°	Loi modèle
C	12'37	1-43	**C. Interpréter une relation entre grandeurs macroscopiques à l'aide d'un modèle microscopique**	C.1. Reprise de la tâche A.b.1. précédente (*) et mise en commun des réponses aux questions posées	*A.b.1.t1 ; A.b.1.t2*	modèle	Modèle loi
D	13'	44-98	**D. Analyse épistémologique et modélisation d'une activité d'élaboration de modèle de la physique conduite en classe.**	D.1. **Analyse et modélisation** de l'activité d'élaboration du lien qualitatif entre pression et volume d'un gaz conduite en classe.	*D.1.t1. Identifier a posteriori les différentes étapes qui ont jalonné la démarche de construction du modèle qualitatif entre la pression et le volume d'un gaz, selon qu'elles sont du monde des théories et des modèles ou des objets et des évènements. Représenter le chemin suivi entre ces deux pôles*	modèle analyse épist.	modèle

E	33'50	99-268	**E. Améliorer un modèle (phase 2)** B.b. Soumettre deux relations hypothétiques entre grandeurs physiques à validation expérimentale. E.a. Placer le modèle quantitatif dans le schéma « monde des théories et des modèles (micro tâche épistémologique)	B.b.1. Elaborer un protocole expérimental (suite tâche de séquence B) B.b.2. Contrôler l'adéquation du matériel expérimental au protocole prévu : estimer l'influence de la longueur du flexible sur la précision de la mesure du volume d'air contenu dans la seringue. B.b.3. Recueillir les données expérimentales B.b.4. Sélectionner la relation retenue ; préciser le domaine de validité de la loi ; tester la loi E.a.1 Placer la loi dans le schéma « monde des théories et des modèles	*B.b.1.t. Indiquer quelles grandeurs décrivant l'état d'un gaz doivent rester constantes pour faire cette étude.* *B.b.2.t. Calculer le volume d'air contenu dans le flexible et le comparer au volume d'air contenu dans la seringue* *B.b.3.t. Réaliser les mesures : lire l'indication donnée par le « pressiomètre » pour les valeurs du volume de la seringue définies dans le protocole.* *B.b.4.t. sélectionner la relation qui donne les prévisions les plus proches des mesures ; distinguer l'intervalle des valeurs de volume pour lesquelles les valeurs de la pression sont au plus proche de la relation quantitative de celui où elles s'en éloignent ; choisir une valeur de volume dans le champ de validité du modèle, prévoir le résultat et le vérifier par la mesure.*	mod	mod
F	30'59	269-361	**F. Définir les relations qualitative puis quantitative quant à la variation de la pression en fonction de la température à volume constant.** Réinvestissement de types de tâches précédents.	Réinvestissement de tâches analogues aux précédentes.	Réinvestissement de techniques analogues aux précédentes.		

2.3 Résultats à l'échelle mésoscopique

L'ensemble de la séance a duré environ 110 minutes. Les séquences associées à des types de tâches sont au nombre de 6 (nous reprenons ici la troisième colonne du synopsis). Le découpage en tâches nous permet de distinguer 6 types de tâches notés A, B, C, D, E et F :

A. Utiliser le modèle et l'expliquer à l'aide d'un modèle microscopique (16'29)
B. Améliorer un modèle (phase 1) (12'49)
C. Interpréter une relation entre grandeurs macroscopiques à l'aide d'un modèle microscopique (reprise sous-tâche de A) (12'37)
D. Modélisation d'une démarche conduite en classe de construction de modèle de la physique en prenant appui sur un modèle épistémologique établi (13')
E. Améliorer un modèle (phase 2) (reprise tâche B) (33'50)
F. Elaborer une relation qualitative puis quantitative entre la pression et la température d'un gaz à volume constant (30'59).

En raison de la coupure de 4 jours entre la séance en classe entière et celle en demi-classe, certaines des tâches débutées lors de la première séance sont reprises et achevées durant la seconde. La séquence F n'apporte rien de nouveau par rapport à ce qui précède, si ce n'est qu'elle permet aux élèves de réinvestir l'ensemble des savoir-faire travaillés jusqu'ici dans un contexte un peu différent. Nous n'extrairons de cette dernière séquence que ce qu'elle apporte de différent par rapport aux autres.

2.3.1 Détails de l'analyse et commentaires

Séquence A (82-103) **et C : Utiliser le modèle qualitatif et l'interpréter à l'aide d'un modèle microscopique.**

Le rappel sur la relation qualitative entre les grandeurs physiques de la pression et de la température et son interprétation à l'aide du modèle microscopique des gaz débute lors de la première séance (séquence A) et est reprise et poursuivie au début de la seconde séance (séquence C). Ces séquences sont donc complémentaires et nous les analysons ensemble.

Cette séquence fait l'objet de la mise en oeuvre de trois sous-tâches A.a.1., A.b.1. et A.b.2. :

A.a.1. Distinguer la manière dont on parle du phénomène conjugué (diminution de volume / augmentation de pression) en physique et dans la vie courante.

Cette tâche élémentaire qui n'appelle pas de technique particulière, est la déclinaison d'un type de tâche récurrent qui trouve sa justification plus tard dans la deuxième séance (séquence D).

tdp 83	P : «Cherchez pas compliqué dans la question 2 je vous demande un mot de la vie courante : je reprends l'exemple de la seringue : comment on décrit dans la vie de tous les jours le fait de faire ça ?» (ndlr : l'enseignant appuie sur le piston tout en bouchant la sortie de la seringue)
tdp 18 (deuxième séance)	P : « *dans la vie courante, comment on appellerait ce phénomène* ? »

A.b.1. Rappeler l'interprétation qu'on peut faire du lien qualitatif entre pression et volume à l'aide du modèle microscopique des gaz et de l'interprétation microscopique du concept de pression (*activité reprise plus tard, en début de séance en demi-classe).

tdp 87	*P auprès de deux élèves* : «le problème c'est que c'est pas vraiment microscopique ça, tu me parles de pression, c'est macro, de force pressante, c'est macro, ben il faut que tu utilises le modèle microscopique et puis peut-être l'interprétation microscopique de la pression»
tdp 90	*P : «j'aimerais qu'on soit sûr que tout le monde est capable de donner une interprétation microscopique au fait (…) que le volume quand on le diminue, la pression …»*

	E : « augmente »
tdp 25 (deuxième séance)	*P : « (…) vous aviez également à faire : l'interprétation de ce lien qu'on peut faire entre pression et volume, lien qualitatif, on dit juste si il y en a un qui augmente et l'autre qui diminue, bon, à l'aide du modèle micro des gaz, et à l'aide de l'interprétation microscopique de la pression, c'est un vieux truc qu'on a utilisé depuis au moins 15 jours : comment on réussit à interpréter à l'aide du modèle l'observation qu'on vient de faire ? »*
tdp 44 (deuxième séance)	*P : « le devoir que j'ai corrigé ce week-end me fait dire que certains ont encore du mal à comprendre ce que ça veut dire interpréter une observation à l'aide d'un modèle »*

Pour réaliser cette tâche, les élèves doivent partir de l'interprétation du modèle microscopique de la grandeur physique « pression ». Cette interprétation leur est fournie dans le document-élève « interprétation microscopique des grandeurs macroscopiques » (cf. annexes p. 42) :

> *« Pour un échantillon de gaz contenu dans un récipient fermé : l'action du gaz sur une paroi est liée aux chocs des molécules sur cette paroi.*
>
> *Pour une durée et une paroi données, plus il y a de chocs sur la paroi, plus la pression du gaz est grande. »*

La deuxième partie de la technique consiste à dire qu'en raison de la diminution du volume, la surface de la paroi est plus petite et que pour un même nombre de molécules contenues dans un volume plus petit, le nombre de chocs augmente en raison d'une surface de paroi plus petite.

La réalisation de cette tâche nécessite donc de combiner deux techniques, développées au cours des interactions qui courent du tdp 92 à 102, puis 25 à 43 de la seconde séance:

- *A.b.1.t1. Définir qu'un gaz est constitué d'atomes ou de molécules qui se déplacent de manière aléatoire et viennent heurter les parois de l'enceinte dans laquelle il est contenu. L'action du gaz sur les parois est liée aux chocs de molécules. Pour une durée et une paroi données, plus il y a de chocs sur la paroi, plus la pression du gaz est grande*
- *A.b.1.t2. Quand le volume diminue, le nombre de molécules par unité de volume augmente, et le nombre de chocs par unité de surface*

augmente également. La conclusion est une pression plus grande.

A.b.2. (tâche inférée) Vérifier à l'aide d'un simulateur l'interprétation du lien qualitatif entre pression et volume à l'aide du modèle microscopique des gaz et de l'interprétation microscopique du concept de pression :

L'enseignant décrit le simulateur comme un « *outil pour faire vivre le modèle* » (tdp 103). Il détaille le cas d'un volume qui diminue et la pression qui augmente en relation avec le comportement microscopique simulé du gaz. Si l'objectif visé est que les élèves perçoivent l'adéquation des résultats donnés par le simulateur à l'interprétation du modèle qualitatif qu'ils ont réalisée lors de la tâche précédente, la technique consiste pour les élèves à :

- *A.b.2.t1. Vérifier qu'en modifiant les paramètres caractéristiques du modèle microscopique (volume du contenant, nombre d'atomes, vitesse moyenne des atomes), les grandeurs macroscopiques varient dans le sens prévu par le modèle macroscopique*

Cette tâche n'est ni précisée aux élèves dans le document, ni par l'enseignant. Ce dernier intervient seulement au niveau de la technique :

tdp 103	P : «j'ai mis un nombre de molécules donné (…) ; pour faire varier le volume, je m'occupe d'une paroi et puis je change la répartition. Regardez, je lance, bon, je peux regarder, par unité de surface, combien il y a de chocs dans un temps donné. Et si maintenant je diminue le volume de cette enceinte, je peux le faire ici, je vais faire ça par exemple, je vais diminuer très fortement... je lance... regardez, sur une même surface, alors ici c'est un trait, sur le simulateur, ce qui correspond, réellement, c'est une surface... Vous pouvez regarder que le nombre de chocs est d'abord plus fréquent, c'est-à-dire plus important dans un temps donné, donc la force sur cette surface-là est plus importante, et donc comme on a raisonné sur une paroi donnée, il y a plus de chocs sur une paroi donnée pendant un temps donné, donc la pression est plus grande. C'est là qu'on a utilisé le modèle microscopique entièrement, d'accord ?»

Séquences B et E : Améliorer un modèle (phase 1 et phase 2)

« *Améliorer le modèle macroscopique* » (tdp 104) est un propos de l'enseignant qui marque l'entrée dans la tâche complexe principale de la séance. « *Approfondir le modèle (…)* » est directement énoncé dans le document de travail des élèves. Cette séquence avait été annoncée comme telle déjà en début de séance :

tdp 82	P : «Le but, c'est d'améliorer ce modèle »

Et elle sera reprécisée au début de la séance en demi-classe (début de la séquence C)

tdp 11	P : «Et donc l'idée de ce chapitre est d'avancer sur les liens qu'il y a entre, c'est trouver un modèle qui décrit convenablement les liens qu'il y a entre ces différentes grandeurs physiques.»

Les types de tâches correspondantes à cet objectif sont les tâches développées lors des séquences B et E. En raison de leur complémentarité, nous présentons leur analyse en les considérant comme un tout.

Séquence B (12'49) (104-164) : améliorer un modèle (phase 1)

Au vu de ce qui est réalisé en classe, nous avons décomposé ce type de tâche en deux types de sous-tâches B.a. (Sélectionner parmi plusieurs propositions relations entre grandeurs possibles décrivant l'état d'un système, celui(ceux) qui s'accorde(nt) à une relation qualitative élaborée précédemment.) et B.b. (Soumettre une relation hypothétique entre grandeurs physiques à validation expérimentale). Contextualisées au thème de la physique des gaz, le type de sous-tâches B.b. se décline en une série de 6 sous-tâches : les deux premières (B.b.1.) et (B.b.2.) sont entamées durant la première séance, puis reprises et complétées par les 4 autres (B.b.3., B.b.4., B.b.5., B.b.6.) au cours de la séquence E de la deuxième séance.

B.a.1. Sélectionner parmi 4 propositions de relations quantitatives liant la pression d'un gaz et le volume qu'il occupe, celle qui est en accord avec le modèle macroscopique qualitatif connu.(Repérer un modèle quantitatif conforme à un modèle qualitatif).

Cette tâche est entièrement définie à partir du document (p. 39) et de ce que dit l'enseignant :

tdp 104	P : «Donc des 4 relations que je vous propose, je vous demande juste de me croire, il y en a une qui va être la plus conforme par rapport aux trois autres aux observations et aux mesures qu'on peut faire, ce qui va nous permettre d'améliorer le modèle.»

Une technique possible pour réaliser ce genre de tâche est de tester les relations quantitatives proposées et de comparer les résultats qu'elles fournissent par rapport au modèle qualitatif que les élèves connaissent déjà :

- *B.a.t. (technique inférée) Faire varier qualitativement une des grandeurs impliquées dans les relations quantitatives (choisir plusieurs valeurs de volume (V, 2.V, 3.V)), et conclure quant à la variation de l'autre grandeur. Regarder la cohérence de ces variations relatives avec le modèle qualitatif déjà connu.*

Cette technique n'est pas totalement explicitée. L'enseignant précise juste au tdp 108 (p. 55) qu'« il faut essayer de tester » et d'être capable de justifier (tdp 112) le choix réalisé entre les relations. La technique se construit dans l'interaction entre 152 et 164 :

tdp 151-152	E : « Si on multiplie par exemple par deux le volume la pression augmente...» P : « Alors première relation, dit Dounia, si on multiplie le volume par deux alors la

	pression va aussi être doublée, c'est vrai, puisque P, dans la première relation est proportionnelle à V . Si je double le volume, je double la pression, il y a un souci, ah oui..., ça marche pas. Alexandre, tu as gardé quoi toi ? ... Nora elle s'endort... Ah ça vous pose problème... »
tdp 155	E : « on prend un volume de 2 (in)[42] et puis on va jusqu'à 4 donc 2 au carré (in) »

B.b.1. Elaborer un protocole expérimental permettant de soumettre à validation les deux relations sélectionnées lors de la tâche précédente (P.V=cte et $P.V^2$=cte).

Nous désignons cette séquence de cette manière parce qu'elle correspond dans l'activité de la physique à la phase intermédiaire entre la relation quantitative hypothétique entre les grandeurs physiques et la partie proprement expérimentale qui sert à la tester. Le tdp 145 est le seul dans laquelle il est explicitement question de protocole :

tdp 145	P : « Alors, le protocole (…) comment on fait ? »

Les interactions indicatrices du travail sur cette tâche portent plutôt sur la technique telle qu'elle est prescrite sur la fiche-élèves :

tdp 118	P : « on veut étudier comment ils évoluent l'un par rapport à l'autre (*ndlr : « ils » correspond au volume et à la pression du gaz*). La question, c'est, pendant l'étude expérimentale, qu'est-ce qui ne doit pas changer ? »
tdp 126	P : « Qu'est-ce qui faut pas faire évoluer si on veut étudier P en fonction de V ? »
tdp 135	Es : « Monsieur, on a une idée, en fait, on se dit que si on prend un volume donné, on sait que la température dans la pièce elle change pas et (in.) et après si on compresse, le pressiomètre, on sait que la pression change, mais comment, c'est après qu'il manque quelque chose »

[42] Le terme (in) = inaudible, présent quelquefois dans la transcription des interactions, indique que nous n'avons pas tout entendu, surtout de la part des élèves, et qu'un ou deux mots manquent dans la phrase retranscrite.

tdp 106 (2nde séance)	P : « voilà, il dit qu'il faut pas, pendant qu'on étudie ça, qu'on change la température, il faut pas qu'on change la quantité de matière. Vous êtes d'accord ? »

- *B.b.1.t. « Indiquer quelles grandeurs décrivant l'état d'un gaz doivent rester constantes pour faire cette étude »*

Cette tâche est reprise et poursuivie à la séquence E (tdp 101-116), mais avec une mise en commun rapide (tdp 117).

Enfin, les détails du protocole sont laissés à la responsabilité des différents binômes.

Séquence E (16'58) (99-199) : améliorer un modèle (phase 2)

B.b.2. (146-164) Contrôler l'adéquation du matériel expérimental au protocole prévu : estimer l'influence de la longueur du flexible sur la précision de la mesure du volume d'air contenu dans la seringue

L'enseignant souhaite faire réfléchir les élèves sur l'importance de la dimension du tuyau reliant la seringue au pressiomètre (instrument de mesure de la pression) du point de vue des grandeurs à mesurer selon le protocole expérimental. Autrement dit, la question est de savoir si les grandeurs mesurées par l'instrument sont précisément celles qui caractérisent le système étudié : la valeur affichée par l'instrument de mesure ne dépendrait-elle pas de la manière dont on utilise cet instrument ?

Cette tâche est explicitement introduite par une question de l'enseignant :

tdp 147 (2nde séance)	P : « Pourquoi l'intérêt qu'il faut que le tuyau soit le plus petit possible ? A votre avis. »
tdp 162	E : « comme ça, on peut mesurer le volume directement sur la seringue.»

Les interactions ne permettent pas d'identifier une technique précise, qui pourrait être la suivante :

- *B.b.2.t. (technique inférée) Calculer le volume d'air contenu dans le flexible et le comparer au volume d'air contenu dans la seringue. Si le premier est une part significative du second, raccourcir le flexible ou choisir une longueur de flexible plus importante.*

B.b.3. (165-252) Recueillir les données expérimentales

Durant cette séquence, le recueil des données et la discussion des résultats est effectuée simultanément : l'enseignant recueille et regroupe dans un tableur les résultats provenant de différents binômes pour lesquels les détails du protocole sont différents, notamment au niveau de la quantité d'air contenue dans la seringue.

tdp 166 (2nde séance)	P : « Allez, vous essayez de faire quelques couples de valeur et puis ensuite on va essayer de comparer nos différentes mesures »
tdp 179-180 (2nde séance)	P : « Oui, vous restez bien dans les limites de mesure du pressiomètre. Benjamin, tu as fait un tableau, tu peux me dire ce que tu as mis dans ton tableau ? » E : « Le volume au carré et la pression et les produits de volume au carré pression. »
tdp 208 (2nde séance)	E : « On n'a pas du tout les mêmes valeurs, nous pour 30 cm3 on a 823 »
tdp 217 (2nde séance)	P : « d'accord. Les couples de valeurs ce sont les vôtres, c'est pour ça que je vous donne l'exemple. Le PV et le PV^2 ce sont les vôtres qu'il faut calculer, d'accord. »

Le recueil des données n'est pas accompagné d'une technique explicite particulière, sa réalisation consiste à exécuter le protocole ayant fait l'objet de la tâche précédente et à consigner les résultats dans un tableau. La technique pourrait être donc la suivante :

- *B.b.3.t. Réaliser les mesures : lire l'indication donnée par le « pressiomètre » pour les valeurs du volume de la seringue définies dans le protocole. Calculer P*V et $P*V^2$ pour chaque couple de valeurs.*

B.b.4. (253-268) Sélectionner la relation retenue ; préciser le domaine de validité de la loi ; tester la loi

On peut distinguer trois parties de cette sous-tâche : la première fait l'objet d'une mise en commun (tdp 253) après que tous les résultats ont été consignés par l'enseignant dans un tableur. Le choix de la relation retenue s'effectue sur le critère de plus grande proximité entre les valeurs expérimentales et les valeurs attendues (tdp 255-257) : dans le cas présent,

il s'agit de comparer les valeurs obtenues pour le produit P*V et pour celui de $P*V^2$, et de regarder si ces valeurs sont sensiblement constantes (tdp 255).

L'enseignant fait remarquer ensuite que les valeurs obtenues sont d'autant plus proches les unes des autres pour les plus faibles valeurs de la pression, précisant ainsi la notion de domaine de validité de la loi (tdp 259). L'intervention de l'enseignant porte sur la technique uniquement.

Enfin, cette sous-tâche contient une troisième micro-tâche consistant à tester la loi : il s'agit alors de fixer une valeur de volume et de pression dans le champ de validité de la loi, puis de prévoir à partir de la loi la valeur de la pression dans le cas d'un volume moitié, et de confirmer cette prévision par une mesure.

tdp 255-256 (2nde séance)	P : « Alors nos mesures est-ce qu'elles sont parfaitement en accord avec la relation ?» E : « non, mais elles s'approchent. D'accord, donc s'il faut choisir entre deux modèles, prendre le moins mauvais des deux modèles »
tdp 258 (2nde séance)	P : « Alors en fait si on allait faire plus de mesures, on pourrait même montrer qu'on s'approche d'autant mieux de la relation, nos mesures sont d'autant plus en accord avec la relation que les pressions sont petites? »
tdp 262-269 (2nde séance)	P : « C'est la question n°7, qu'est-ce qui se passe si je double le volume ? » E : (in) P : « On divise par deux pardon, si on diminue le volume d'un facteur 2 ? Faut que la pression, elle... » E : « Multipliée par un facteur 2 » P : « Voilà, elle est multipliée par un facteur 2, et il y a même un verbe en français qui permet de dire ça ? » E : « Elle est doublée » P : « Bravo, elle double. D'accord ? Si V je le divise par deux, il faut absolument que la pression pour que ça reste constant, je l'augmente par deux. Alors ça vous pouvez le vérifier, Dounia qui voulait vérifier, prendre tel volume et regarder, prenez un volume, je sais pas, mettons de 60, puis après vous prenez un volume de 30 c'est une façon de vérifier la validité du modèle sur cette situation là. Prenez un volume de 60, vous regardez la pression, vous prenez un volume de 30 c'est divisé par deux, vous regardez si la pression a doublé. Alors là on peut regarder, c'est pas mal, alors on n'est pas exactement sur le modèle, mais on a un accord avec le modèle qui est pas scandaleux. 30, 60, 600, il faudrait que ça aille à 1200, d'accord, avec 30 et 15 ouais, ça marche aussi,

	faudrait voir les autres, faudrait voir 80, bon, ça fonctionne, il y en a qui l'ont fait, 30, 60, c'est bon ? »

Si la première partie de cette sous-tâche (sélectionner la relation retenue) ne doit pas poser de problème aux élèves dans la mesure où le travail entrepris jusqu'ici visait à y aboutir, la deuxième n'est pas explicitée en tant que tâche. Elle constitue tout de même un moyen de caractériser en cours de séance un aspect particulier du concept de modèle. La troisième en revanche constitue une tâche dont la prescription et la technique figurent sur le document de travail, sans toutefois que cette tâche soit identifiée comme participant à une démarche de test de la loi. Nous pourrions expliciter l'ensemble de trois techniques de la manière suivante :

- *B.b.4.t. : sélectionner la relation pour laquelle les mesures sont les plus proches de ce que la relation prévoit ; distinguer l'intervalle des valeurs de volume pour lesquelles les valeurs de la pression sont au plus proche de la relation quantitative de celui où elles s'en éloignent ; choisir une valeur de volume dans le champ de validité du modèle, prévoir le résultat et le vérifier par la mesure.*

E.a. (260-262) Placer la loi (relation quantitative) dans le schéma « monde des théories et des modèles

Cette micro-tâche est de nature épistémologique puisque ce qui est visé ici n'est pas de l'ordre du savoir de la physique mais de la nature de ce savoir ; placer la relation $pV=k_3$ dans le modèle épistémologique des deux mondes renvoie à la séquence épistémologique principale D où est utilisé ce modèle.

tdp 260-262	P : «Et du coup, dans les deux patates, vous la mettez où la relation ? C'est pas trop dur.» E : «Dans le modèle» P : « Bien sûr, dans le modèle, maintenant, on va utiliser cette nouvelle relation, c'est la dernière question, c'est la conclusion, vous l'avez la conclusion sur votre, le l'ai donnée, oui, donc la relation entre pression et volume est du type c'est ça, on la met là-dedans, évidemment, et là on va l'utiliser pour déduire une prévision qu'on est capable de faire,

	une prévision concrète entre guillemets, que se passe-t-il pour la pression si je double le volume ? »

Cette micro-tâche est chronologiquement antérieure à la sous-tâche précédente du test de la loi et postérieure à celle visant à en préciser le domaine de validité. Cette position renforce probablement l'idée chez les élèves que ce qui appartient au monde des modèles possède ces particularités de testabilité et de domaine de validité. Selon nous, l'idée que la physique constitue un corpus de connaissances dotées de propriétés particulières (testables, possédant un domaine de validité, permettant de faire des prévisions) constitue le logos qui légitime cette tâche.

Séquence D (13') (44-98) : Analyse épistémologique et modélisation d'une activité de construction de modèle de la physique conduite en classe.

Cette séquence constitue une tâche supplémentaire par rapport à ce qui est demandé aux élèves dans la fiche de travail. Cette tâche est spécifiquement du domaine de l'activité épistémologique : il s'agit dans un premier temps d'analyser a posteriori l'activité conduite précédemment en classe lors de l'élaboration du lien qualitatif entre pression et volume d'un gaz. Cette analyse s'appuie sur le modèle épistémologique des deux mondes. Dans un deuxième temps, la tâche consiste à modéliser, autrement dit à représenter le parcours entre ces deux mondes. Cette tâche n'est pas désignée en tant que telle (il n'est pas question de « modélisation de la démarche ») : l'enseignant n'intervient qu'au niveau de la technique :

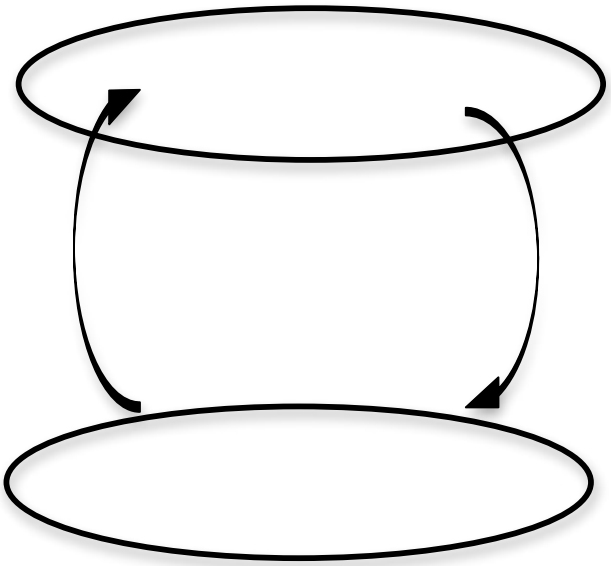
- *D.1.t. Identifier a posteriori les différentes étapes qui ont jalonné l'activité d'élaboration du modèle qualitatif entre la pression et le volume d'un gaz, selon qu'elles sont du monde des théories et des modèles ou des objets et des évènements. Représenter le chemin suivi entre ces deux mondes.*

Les interactions qui renvoient à ces techniques sont développées entre les tdp 44 et 97:

tdp 44	*P : «* ce qui se passe, ici, du point de vue du fonctionnement de la physique, regardez un petit peu : on est parti d'une observation, ça je vous l'ai souvent fait, vous vous souvenez ? Je vous ai dit souvent, on est dans le modèle, ou là on est dans l'observation. j'avais mis sur cette feuille à l'époque, le monde des objets et des évènements (schéma au

	tableau) »
tdp 45	P : « *Vous savez sans arrêt, je vous ai dit dans l'année, quand on veut faire de la physique, c'est bien de faire des liens, attention où est-ce qu'on est, on est au niveau des observations, ou alors est-ce qu'on est déjà au niveau des modèles. Là on a fait des liens, dites moi un petit peu comment on a parcouru, comment on a navigué entre ces deux patates là* »
tdp 54	E : « *C'est un évènement quand on arrive au modèle qui nous dit que c'est de plus en plus rapproché* »
tdp 56	P : « *ah, alors elle change, elle dit, le volume diminue, en bas (*ndlr : le bas désigne le « monde des objets et des évènements*). François, t'es d'accord ? Les autres vous en pensez quoi ? Est-ce que le volume diminue, est-ce que c'est un évènement, ou est-ce que c'est déjà dans le modèle* ? »

Le schéma ci-dessous est une reproduction du schéma figurant au tableau et complété durant la séquence :



L'enseignant note au tableau les deux ensembles, et après un petit moment de réflexion et quelques échanges, une élève vient remplir les ensembles avec les mentions *« le volume diminue, le nombre de chocs augmente, la pression augmente* » et placer les flèches pour indiquer le chemin suivi. Le désaccord d'un élève à propos du choix de la localisation de l'énoncé « *la pression augmente* » dans le monde des objets conduit à une intervention de

l'enseignant à propos de la difficulté de gérer l'ambiguïté entre les deux registres, notamment dans le cas de concepts comme celui de la pression. Il explique alors que le recours au modèle microscopique à partir de la situation d'un « volume qui diminue » permet de prévoir une conséquence empirique mesurable, qui n'est pas rigoureusement l'augmentation de la pression directement, mais la constatation de l'augmentation de ce qu'indique l'appareil qui mesure la pression (tdp 93 et 97).

Cette séquence se termine (tdp 97 et 98) sur des propos de l'enseignant qui légitiment le travail de réflexion épistémologique en le décontextualisant du cas du gaz dans le but d'aider les élèves à comprendre les fonctions de prévision et d'interprétation du modèle :

- « prévoir » un phénomène à partir d'un modèle :

tdp 97	*P* : « Voyez que le modèle, il sert à prévoir quelque chose, on arrive à prévoir avec ce modèle que la pression va augmenter »

- « interpréter » un phénomène à l'aide d'un modèle :

tdp 97	*P* : (…) ça vous permet de comprendre comment ça fonctionne un petit peu quand on fait une interprétation, qu'est-ce que c'est que faire une interprétation en physique »
tdp 98	P : « *c'est un vrai exercice scientifique que d'apprendre à bien séparer observation, interprétation, séparer ce qui relève des concepts qu'on utilise là de ce qu'on voit* »

La sous-tâche A.a.1. prend ici tout son sens. Elle renvoie à un type de tâche identifiable comme tel (Distinguer la manière dont on parle d'un phénomène en physique et dans la vie courante) par les élèves parce qu'ils la rencontrent tout au long de l'année à propos de divers savoirs de la physique ou de la chimie. Ce travail de distinction des registres est différent de celui de la distinction entre les mondes, mais vise à y préparer en clarifiant l'usage considéré souvent comme « naturel » des noms de concepts, usage qui place souvent ces concepts du côté du réel.

On retrouve ce travail à d'autres moments de la séance (séquence F) :

tdp 288	*P* : « Vous êtes d'accord, objet-évènement, qu'est-ce qu'on fait, on chauffe, ça c'est un évènement, je chauffe, je mets dans un bain Marie ou je prends un sèche-cheveu, je chauffe. L'objet de la deuxième question, c'est dire en terme de physique, on dirait quoi pour dire je chauffe ?» E : « J'augmente la température »

Lors de l'élaboration du protocole expérimental (séquence B et E), une élève confond ces deux registres. L'enseignant se sert de la distinction comme outil de régulation tdp (123-138) :

tdp 128	P : « Toi, ce à quoi tu as accès, c'est le volume. Quand tu vas passer V au carré pour savoir si $P.V^2$ c'est constant quel que soit le volume, tu testes quelque chose dans le modèle et le V au carré, c'est toi qui vas le calculer. »
tdp 132-134	P : « Non, on peut pas mettre le V au carré (ndlr : avec le dispositif expérimental). Mais qu'est-ce que ça voudrait dire, mettre V au carré ? Mettre V au carré, ça correspond à rien de la réalité là, des objets et des évènements. V au carré c'est un truc... E : « ben c'est le volume au carré » P : « oui, mais c'est purement du modèle on est d'accord ? »

Le savoir épistémologique pris comme référence à ce travail est relatif la nature du modèle : comme dans le cas de la micro-tâche D.a. de la séquence E, le savoir à apprendre, relation qualitative et quantitative entre les grandeurs physiques, est un élément du corpus de la physique, et est en cela un outil d'intelligibilité du réel sans y appartenir.

2.3.2 Synthèse des résultats à l'échelle mésoscopique

Dans la quasi-totalité des séquences (A, B, C, E et F), les types de tâches en œuvre correspondent à la progression prévue dans la fiche distribuée aux élèves. Chaque tâche contextualisée aux savoirs de la physique inclut parfois des sous-tâches, pour lesquelles l'analyse des propos de l'enseignant permet d'identifier la plupart du temps les techniques associées. Les interventions de cet enseignant dans la direction d'étude portent ainsi à la fois sur les tâches en jeu dans la séance et sur les techniques nécessaires à leur réalisation (hormis dans deux cas où la tâche (dans un cas) et la technique (dans l'autre cas) sont

inférées en l'absence de traces dans le corpus). L'ensemble de ces tâches relève du fonctionnement de la physique essentiellement autour de la notion de modèle, et en adéquation à notre grille de référence :

- Interpréter la relation qualitative entre deux grandeurs à l'aide d'un modèle microscopique
- Vérifier l'interprétation précédente à l'aide d'un simulateur (tâche inférée)
- Repérer un modèle quantitatif conforme à un modèle qualitatif (technique inférée)
- Tester un modèle :
    - Elaborer un protocole expérimental afin de tester un modèle
    - Contrôler l'adéquation du matériel expérimental au protocole prévu
    - Recueillir les données expérimentales
- Identifier les limites du champ de validité du modèle
- Tester la prévision donnée par un modèle

L'analyse met en évidence que les deux séances observées sont structurées autour d'activités relatives au concept de « modèle » et de « modélisation », déclinés sous des formes variées ; ceci est conforme aux objectifs que cet enseignant s'est donné. Ces activités sont instanciées à des savoirs particuliers de la physique (la physique des gaz pour cette séance), mais sont mises en œuvre de nouveau sous des formes proches lors de la séquence F, ou à propos de savoirs scientifiques différents au long de la progression dans l'année (une structuration du même type est utilisée plus tôt dans l'année notamment à propos de l'étude du pendule simple dans le thème du programme relatif à la mesure du temps). Notre observation, limitée à cette séance, d'une telle structuration de l'enseignement nous renseigne sur sa praxéologie disciplinaire relative à la notion de modèle via sa praxéologie didactique de la physique, conduite autour du modèle.

Mais cette séance se caractérise surtout par la séquence D durant laquelle une tâche typiquement épistémologique est en œuvre, sous la forme d'une analyse a posteriori sur l'activité scientifique d'élaboration de modèle conduite en classe. Cette analyse réflexive sur

l'activité scientifique conduite en classe s'appuie sur le modèle épistémologique de la théorie des deux mondes. Au cours de cette séquence, les élèves sont conduits à revenir sur toutes les fois précédentes où l'enseignant leur demande de distinguer la nature des savoirs selon qu'ils sont du monde des objets et des évènements ou du monde des théories et des modèles, et doivent modéliser le cheminement entre ces deux pôles. Ce travail de distinction est en œuvre notamment dans la sous-tâche de la séquence E. La sous-tâche de la séquence A qui a pour but de distinguer ce qui relève du langage de la physique de ce qui relève du langage courant y participe également à un autre niveau. De même, l'enseignant insiste à propos du simulateur (tdp 297-299, 361) sur le fait que ce dernier fonctionne sur la base du modèle, et qu'en dépit des apparences (le simulateur affiche le dessin d'une seringue, analogue à celle dont se servent les élèves sur le plan expérimental), les résultats obtenus sont ceux du modèle et n'appartiennent pas au monde des évènements. Ce travail de distinction qui apparaît à chaque instant où il semble nécessaire, vise aussi à éviter les confusions, non seulement dans une visée épistémologique « *pour comprendre comment ça fonctionne quand on fait une interprétation* » (tdp 97 2ème séance), mais aussi dans le but de repérer ces confusions considérées comme des obstacles à l'apprentissage.

Ces tâches épistémologiques dans la séance sont introduites explicitement. La technique consistant à s'appuyer sur l'activité conduite en classe pour y repérer la nature des savoirs qui sont ou ont été travaillés, est également explicite. Au vu de la participation des élèves à cette activité, identifiable dans les interactions, elle semble ne pas être nouvelle pour eux. En effet, même si de telles séquences ne sont pas systématiques, d'autres séances de la progression annuelle en contiennent, selon ce que dit l'enseignant au cours des entretiens. La structure de cette séance présente ainsi à la fois une cohérence interne (en lien avec les savoirs de la physique à enseigner) et externe avec d'autres séances, permettant peut-être aux élèves de dégager une compréhension du fonctionnement de la physique au-delà de la spécificité des savoirs à enseigner.

Il nous semble qu'au cours de cette séquence, l'analyse épistémologique conduite en classe relève d'une technologie/théorie à la fois au niveau de l'activité de la physique et de

l'activité épistémologique : nous observons que l'action du professeur conduit à appréhender les objets du monde physique à l'aide de modèles déjà au moins partiellement construits, transposés de savoirs de référence de la physique, permettant alors de valider empiriquement ces modèles ou de les perfectionner. Une réflexion épistémologique en classe prend également pour objet l'activité scientifique conduite en classe mais interprète les étapes d'élaboration en classe du savoir scientifique à partir d'un modèle épistémologique (modèle des deux mondes), transposé du corps des savoirs de référence que constitue l'épistémologie. Ce schéma, tant du point de vue des contenus que de la démarche, semble ainsi transposé de l'activité de la physique (dans le contexte du fonctionnement de la science « normale ») qui consiste à appréhender les objets du monde physique à l'aide de modèles déjà construits, et de l'activité épistémologique qui consiste à analyser les objets du monde de l'activité de la physique à partir de modèles épistémologiques déjà au moins partiellement construits.

Enfin, la démarche conduite en classe relève d'un troisième niveau de technologie : la distinction récurrente des registres du langage courant et du langage de la physique s'inscrit dans une logique d'apprentissage, en prenant en compte que les confusions entre les registres constituent des obstacles d'apprentissage.

2.4 Résultats à l'échelle microscopique

2.4.1 Concepts attendus dénommés par l'enseignant

Concept et occurrence du concept	**modèle (séance 1 : 35 ; séance 2 : 61)**				
Objet / sens du concept de modèle	***Nombre d'occurrences***	***séquence***	***tour de parole***	***Extraits du corpus***	***Niveau maximum d'explicitation***
Elément d'une théorie ; savoir de la physique	28	A,B,C,D, E	1ère séance : 82,86,87,92, 96,103,104 2ème séance : 1,5,11,25,31 79,97,99, 112,258	« Vous sortez bien les deux modèles, le macroscopique rouge et le petit bandeau » « vous devez articuler le modèle microscopique et le modèle macroscopique » « pour l'instant, dans le modèle on a juste dit quand le volume diminue la pression augmente » « je peux a priori commencer à étudier l'air qu'il y là-dedans avec le modèle » « le modèle qu'on garde, c'est PV=constante »	e1
Fonction : utiliser pour comprendre, expliquer, décrire , interpréter une observation, raisonner	15	A,C,D	1ère s : 22,87, 92,96,103 2ème s : 5,11, 25, 31, 44, 45, 97,98	« ben il faut que tu utilises le modèle microscopique (pour interpréter) » « et c'est ensuite qu'on a donné du sens (à l'observation) avec le modèle » « je veux passer par une interprétation à l'aide du modèle microscopique » « ça vous permet de comprendre un petit peu comment ça fonctionne quand on fait une interprétation »	e3
Représenter le modèle, schématiser le modèle pour comprendre, simuler	8	A,E,F	1ère s :103 2ème s : 269,297,299	« Le simulateur qui nous a permis de faire vivre le modèle » « utiliser le modèle avec le simulateur » « le simulateur, il fait tourner le modèle »	e3
Bathygène	2	A,C	1ère s : 103 2ème s : 43	« on a dit que microscopiquement, la pression était directement reliée au nombre de chocs »	e0

Contestable, Modifier, Améliorer, perfectionner, compléter	7	A,B,C,E,	1ère s : 82,104,142 2ème s : 1,99	« le but c'est d'améliorer ce modèle » « on est à la pêche à du nouveau modèle »	e3
Domaine de validité	5	C,E	1ère s : 1,5 2ème s : 5,11, 259	« Par contre dès l'instant où je le bouche (…) je peux a priori commencer à étudier l'air qu'il y a là-dedans ». « c'est valable, d'autant plus valable, c'est pas une vérité absolue, comme tout modèle, que la pression est faible »	e2-e3
Hypothèse, prévision, à confronter au réel	7	D,E	1ère s : 26 2ème s : 97,140,268	« Ce qu'on a imposé dans le modèle, ça on l'a pas montré, c'est qu'il y a proportionnalité entre les surfaces et la force qui pressait » « voyez que le modèle il sert à prévoir quelque chose » « il faudrait que k3 pour les différentes mesures soit toujours à peu près le même, on verra si le modèle est valide justement »	e2-e3
Loi, lien entre grandeurs physiques	9	C,E,F	1ère s : 38 2ème s : 11,99,257,258,297	« Règle de fonctionnement du modèle qui permet de convertir la pression en altitude » « l'idée de ce chapitre est d'avancer sur les liens qu'il y a entre, c'est trouver un modèle qui décrit convenablement les liens qu'il y a entre ces différentes grandeurs physiques » « j'injecte un petit peu de modèle, je dis juste que la loi de Boyle-Mariotte se présente comme la relation 3 ou la relation 4 » « s'il faut choisir entre deux modèles (…) on prend PV=cte »	e2
Relation définitoire entre grandeurs (telle que p=F/S)	2		1ère s : 51,71	« Là on applique le modèle (…) : F=p.S » « faut connaître la formule, certes, quand on connaît son modèle ça va à peu près et faut penser à mettre la pression en Pascal et la surface en m^2 »	e3
Appartient au monde des théories, et est en cela différent des objets et des évènements	18	C,D,E	2nde séance : 44,45,54,55, 59,60,68,82, 128,134,138 ,261,262	« est-ce que le volume diminue, est-ce que c'est un événement, où est-ce que c'est déjà dans le modèle ?» « Quand tu fais le produit P fois V c'est du modèle »	e3

Le principal résultat de cette analyse est que le terme de modèle est très fréquemment désigné par l'enseignant, et cela de manière homogène sur toute la durée des deux séances : chaque séquence contient au moins une occurrence de la plupart des déclinaisons

de ce concept de modèle. De plus, cette variété des acceptions est en cohérence avec la nature des tâches en œuvre dans la séance.

Enfin, la plupart des significations associées au terme de modèle sont d'un niveau d'explicitation e3, ce qui signifie que non seulement l'enseignant précise le sens associé au terme de modèle, mais qu'il ajoute des éléments à cette signification au-delà du contenu scientifique abordé, permettant de décontextualiser le concept de modèle de son association avec la physique des gaz. Ce niveau de généralisation est renforcé par le fait qu'un tel travail sur la notion de modèle et son accompagnement avec un discours analogue sur la notion de modèle est repris non seulement lors de la séquence F mais aussi à d'autres moments de l'année.

Enfin, nous avons examiné le sens attribué au concept de modèle en dehors des moments de l'étude (tdp 1 à 81 de la première séance) et avons constaté que les propos de l'enseignant sur les différentes acceptions du concept de modèle sont tout à fait cohérents avec ceux des séquences.

2.4.2 Autres concepts épistémologiques

Remarque de présentation : dans le souci de faciliter la lecture, les tableaux suivants sont présentés de manière différente du précédent, en présentant les différentes significations de chaque concept épistémologique selon une ligne

Dénomination et occurrence du concept	**Expérience (3)**	
Objet ou sens de la désignation	**Vérification d'une prévision construite à partir d'un modèle**	**Manipulation d'instruments permettant d'obtenir des informations sur un système**
Occurrences en lien avec le sens de la désignation	2	1
séquence	Avant la séquence A	E

Tour de parole	1ère séance : 75-79 (désignation du concept en tdp 79)	2ème séance : 99
extraits du corpus		« la petite expérience que vous avez faite il y a 15 jours : on appuie sur la seringue et on observe que la pression sur le pressiomètre augmente »
Niveau maximum d'explicitation du sens du concept	e1	e1

Dénomination et occurrence du concept	**Observation (9)**	
Objet ou sens de la désignation	**Constatation appartenant au monde des objets et des évènements destinée à être mise en relation avec un modèle, interprétée à l'aide d'un modèle**	**Evénement prévu à partir d'un modèle**
Occurrences en lien avec le sens de la désignation	17	3
séquence	A, B, C, D, E	D
Tour de parole	1ère séance : 92, 103, 104, 141, 142, 145, 150 2ème séance : 25, 27, 44, 45, 97, 98, 99	82,84,86
extraits du corpus	« ça c'est une observation qu'on avait faite à l'aide du pressiomètre, sans trop savoir à l'époque de qu'était la pression, et c'est ensuite qu'on a donné du sens avec le modèle, à ce qu'était la pression « certains ont encore du mal à comprendre ce que ça veut dire interpréter une observation avec un modèle » « je vous ai dit souvent, on est dans le modèle, ou là on est dans l'observation »	« La pression c'est une grandeur physique, c'est déjà dans le modèle, c'est vraiment un élément du modèle la pression, regardez ce qu'on a mis là-bas, c'est une des grandeurs qui décrit le gaz. Mais alors ça serait quoi l'observation qui correspond ? »
Niveau maximum d'explicitation du sens de la variable	e3	e3

Dénomination et occurrence du concept	**Hypothèse (1)**
Objet ou sens de la désignation	**Condition d'utilisation d'un modèle sur un objet d'étude donné**
Occurrences en lien avec le sens de la désignation	1
séquence	D
Tour de parole	2ème séance : 95
extraits du corpus	« ça marche aussi pas mal, on peut dire si on lâche le piston il revient à sa place, ça pourrait aussi fonctionner, mais bon derrière il y des hypothèses un peu compliquées pour en déduire que c'est parce que la pression augmente »
Niveau maximum d'explicitation du sens de la variable	e0

Dénomination et occurrence du concept	**Loi (7)**
Objet ou sens de la désignation	relation entre les grandeurs physiques P et V (Loi de Boyle et Mariotte et loi des gaz parfaits) : énoncé nomopragmatique
Occurrences en lien avec le sens de la désignation	10
séquence	E, F
Tour de parole	2ème s : 99,118,120,122,259, 353
extraits du corpus	« ça marche aussi pas mal, on peut dire si on lâche le piston il revient à sa place, ça pourrait aussi fonctionner, mais bon derrière il y des hypothèses un peu compliquées pour en déduire que c'est parce que la pression augmente »
Niveau d'explicitation maximum du sens de la variable	e1

Par comparaison à l'utilisation du terme de modèle, les autres termes de l'épistémologie sont très peu utilisés durant la séance. Parmi eux, celui d' « observation » est le plus présent dans le discours de l'enseignant, et cela dans toutes les séquences ; il est utilisé dans le sens d'un constat empirique destiné à être mis en relation ou interprété à l'aide d'un modèle et occupe une place importante dans l'objectif central de la distinction du monde empirique et du monde des modèles. L'enseignant généralise souvent cette acception du concept (e3) au delà de sa contextualisation au savoir scientifique travaillé en classe.

Le terme de loi est utilisé une dizaine de fois, mais toujours pour nommer une relation particulière (loi de Boyle-Mariotte ou loi des gaz parfaits). Ainsi, ce terme ne semble pas faire l'objet d'une signification conceptuelle dans le discours de l'enseignant. Ceci est assez singulier dans la mesure où l'utilisation du terme de modèle est souvent utilisé en lieu et place de loi (cf. tableau relatif au concept de modèle) : l'enseignant confirme au cours de l'entretien post-analyse que son objectif étant de développer la compréhension de la physique chez les élèves via l'utilisation du concept de modèle, celui-ci peut être utilisé pour qualifier tous les concepts épistémologiques caractérisant la nature et le fonctionnement de la physique. Le terme d'expérience peut donc être remplacé par celui de validation de modèle, le terme d'hypothèse par celui de modèle à valider, etc… Enfin, l'enseignant déclare lui-même être capable de discerner parfaitement et d'enseigner ce qui relève du modèle, alors que la notion d'hypothèse par exemple est une notion difficile à enseigner, en raison notamment de son caractère polysémique entre les différentes sciences, et par conséquent entre les différentes disciplines scolaires.

Chez cet enseignant B, nous avons vu que les séances sont structurées autour d'activités diversifiées à partir de l'utilisation ou de l'élaboration de modèles. A l'intérieur des séquences, ce que dit l'enseignant sur la notion de modèle est non seulement conforme aux savoirs de référence en épistémologie, mais cohérent avec la structuration mise en œuvre, de telle manière qu'elle semble lisible par le chercheur mais aussi vraisemblablement par les élèves (bien que ceci reste à confirmer).

Enseignant C

Verbatim de la séance	Annexe p. 97
Niveau d'enseignement	Seconde générale
Partie du programme	Thème « exploration de l'espace » B.O. Hors Série N° 6 du 12 AOÛT 1999
Place dans la séquence	3ème séance

1 Analyse a priori

L'observation a porté sur une séance d'une heure en classe entière.

1.1 Le programme

Les instructions officielles indiquent que l'enseignement de cette partie permet d'apprendre à se repérer à travers l'exploration de l'environnement physique par « *la mesure de distances* » à différentes échelles, « *de l'échelle atomique à l'échelle astronomique* ».

Quelques mesures simples de longueurs « *faites en classe à l'aide d'un double décimètre permettent d'introduire la notion de précision d'une mesure liée à l'appareil de mesure, et le nombre de chiffres significatifs à conserver* ».

Pour les mesures de distances ou des tailles d'objet aux autres échelles, il faut recourir à des « *techniques particulières* », « touchant à de nombreux domaines de la physique : optique, électricité, mécanique... ». Le programme propose explicitement de travailler sur l'évaluation de « *la distance de l'endroit où l'on se trouve au bâtiment d'en face* »

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	**CONTENUS**	***CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES***
Comment évaluer la distance et les dimensions d'un immeuble ? Méthode de la parallaxe Technique de la visée Utilisation du diamètre apparent	1.2. Echelle des longueurs Echelle des distances dans l'univers de l'atome aux galaxies. Unités de longueur. Taille comparée des différents systèmes.	*Mesurer une petite et une grande distance :* *- mettre en œuvre une technique de mesure utilisée en TP* *- garder un nombre de chiffres significatifs en adéquation avec la précision de la mesure* *- exprimer le résultat avec une unité adaptée*
	1.3. L'année de lumière. Propagation rectiligne de la lumière. Vitesse de la lumière dans le vide et dans l'air. Définition et intérêt de l'année de lumière.	

Dans les commentaires associés à ce thème de travail, il est précisé qu'à défaut d'introduire « *peu de notions nouvelles* » par rapport au collège, ce thème « *permet de travailler davantage en début d'année sur la méthodologie* », notamment en ciblant des « *compétences liées (…) à l'outil mathématique et à l'expérimentation* ». Enfin, « *l'expérience de cours ou de travaux pratiques est essentiel(le) afin que l'élève, comme il l'a fait au collège, continue d'apprendre à observer, à décrire, à schématiser, à analyser, à rédiger, à utiliser un vocabulaire scientifique, à argumenter*...

1.2 Les savoirs de l'épistémologie à enseigner

Cette analyse a priori, comme dans le cas de la physique des gaz pour les deux enseignants précédents, nous est utile non seulement pour repérer ce qui dans la séance observée relève

éventuellement du programme ou s'en écarte significativement, mais aussi et surtout pour identifier dans la séance une éventuelle mise en œuvre d'un canevas épistémologique lié à la spécificité des savoirs en jeu.

Ce thème porte essentiellement sur la notion de mesure de distance et de précision de la mesure. Là encore comme dans le cas de la physique des gaz, si notre cadre de référence nous permet de raccrocher les termes d'action comme « apprendre à observer », « décrire », « schématiser », « analyser », « argumenter » à de l'épistémologie, peu de liens sont précisés entre ces termes et entre la signification de ces termes et les savoirs épistémologiques de référence.

Ainsi, l'utilisation de « *techniques* » pour réaliser des mesures de distance ou de longueur *à distance* en utilisant notamment la vitesse de la lumière relève d'une démarche de construction d'un modèle d'où l'on tire les informations nécessaires à ces mesures.

1.3 Les intentions de l'enseignant

L'entretien ante-séance prévu initialement et visant, conformément à la méthodologie, à cerner les intentions de l'enseignant sur la séance à venir du point de vue des savoirs de l'épistémologie, n'a pas pu avoir lieu pour des raisons techniques. Cela dit, plusieurs échanges épistolaires avec l'enseignant, notamment dans le but de sélectionner la ou les séances correspondantes à nos questions de recherche, nous ont donné des indications sur ces intentions et nous ont fourni notamment un document préparatoire au cycle de trois séances dont la séance observée fait partie.

L'enseignant commence l'année scolaire avec ses élèves de seconde avec une introduction intitulée « qu'est-ce que la physique ? ». Cette séance est l'occasion de « *revenir sur quelques modèles abordés au niveau du collège (en chimie et en électricité) pour présenter ce qu'est une démarche de modélisation en physique (propriétés et limites d'un modèle, confrontation à l'expérience)* ».

Il travaille notamment avec les élèves sur un texte intitulé « la montre d'Einstein » à propos du rôle de la construction des modèles comme moyens d'explication et de prévision des phénomènes :

> *"**C**'est en réalité tout notre système de conjectures qui doit être prouvé ou réfuté par l'expérience. Aucune de ces suppositions ne peut être isolée pour être examinée séparément. Dans le cas des planètes qui se meuvent autour du soleil, on trouve que le système de la mécanique est remarquablement opérant. Nous pouvons néanmoins imaginer un autre système, basé sur des suppositions différentes, qui soit opérant au même degré. **L**es concepts physiques sont des créations libres de l'esprit humain et ne sont pas, comme on pourrait le croire, uniquement déterminés par le monde extérieur. Dans l'effort que nous faisons pour comprendre le monde, nous ressemblons quelque peu à l'homme qui essaie de comprendre le mécanisme d'une montre fermée. Il voit le cadran et les aiguilles en mouvement, il entend le tic-tac, mais il n'a aucun moyen d'ouvrir le boîtier. S'il est ingénieux il pourra se former quelque image du mécanisme, qu'il rendra responsable de tout ce qu'il observe, mais il ne sera jamais sûr que son image soit la seule capable d'expliquer ses observations. Il ne sera jamais en état de comparer son image avec le mécanisme réel, et il ne peut même pas se représenter la possibilité ou la signification d'une telle comparaison. Mais le chercheur croit certainement qu'à mesure que ses connaissances s'accroîtront, son image de la réalité deviendra de plus en plus simple et expliquera des domaines de plus en plus étendus de ses impressions sensibles. Il pourra aussi croire à l'existence d'une limite idéale de la connaissance que l'esprit humain peut atteindre. Il pourra appeler cette limite idéale la vérité objective."*
>
> *Albert Einstein et Léopold Infeld (1936) L'évolution des idées en physique*

La séance observée, d'une durée d'une heure, est précédée une semaine auparavant d'une séance d'une heure à propos, selon l'enseignant, de « *la notion de mesure en physique* » (documents annexes).

Elle est précédée la veille d'une séance dite de « *TP* » d'une heure et demie, organisée en demi-classe, et organisée autour d'une activité expérimentale sur la mesure de la hauteur d'un immeuble éloigné. L'objectif de la séance est de « *comprendre le principe de la mesure et le protocole* ».

Ce thème est repris le lendemain (séance observée) « *pour expliquer ce qu'est une*

modélisation géométrique d'une situation expérimentale » mettant en scène « *des considérations entre les mathématiques et la physique* » dans l'élaboration des modèles : L'enseignant « *présente la mesure comme un processus qui fournit des valeurs numériques à des grandeurs, ce qui permet de faire des calculs* » à partir du moment où « *ces grandeurs sont reliées entre elles par un modèle* ».

Ces trois séances sont intégrées dans un chapitre général sur la mesure, qui constitue « *un regroupement de plusieurs parties du programme que (l'enseignant) justifie éventuellement par des considérations "épistémologiques", en présentant le rôle de la mesure dans les démarches de modélisation, permettant par exemple les mises en équation avec les mathématiques*. »

La démarche de modélisation est également abordée à un autre moment de la progression, sur le thème de la mécanique à propos duquel l'enseignant s'appuie sur l'histoire des sciences pour « *essayer de faire réfléchir* (les élèves) *sur l'évolution des modèles dans l'histoire avec Galilée* ».

Ces parties sur la mesure et sur la mécanique sont « *des reformulations voulues du programme à cause de considérations personnelles sur la cohérence (ou non) de la physique qu'on enseigne en seconde, et donc quelque part de considérations épistémologiques* ».

2 Analyse de la séance

2.1 Narration chronologique

Séquence A : (5'50) : Introduction de la séance / but de la séance

L'enseignant débute la séance en revenant, via une diapositive projetée, sur ce qui a été réalisé durant la séance de la veille (séance de TP portant sur la mesure à distance de la hauteur d'un bâtiment éloigné). L'enseignant présente l'objet de la séance du jour : il est question d'étudier la manière dont on mesure la distance qui sépare un observateur d'un

orage selon une méthodologie en trois étapes, et d'analyser a posteriori sous cet angle le travail effectué la veille dans le cas de la mesure de la hauteur de l'immeuble.

L'enseignant débute la partie consacrée à l'évaluation de la distance d'un orage avec la présentation du « phénomène » de décalage entre la perception de l'éclair et celle du son du tonnerre. S'en suit la présentation de la technique rapide de calcul de la distance de l'orage (évaluer la durée en seconde séparant la perception de l'éclair de celle du son, et diviser par 3 cette durée pour obtenir la distance en kilomètre). L'objectif n'est pas de connaître la technique, mais de comprendre comment elle est construite et pourquoi son utilisation permet une bonne estimation de la distance recherchée : l'objectif explicite est de « *montrer ce qu'est une modélisation et comment on utilise les mathématiques dans une modélisation* ». L'enseignant précise qu' « *une modélisation nécessite de faire des hypothèses, utiliser des grandeurs physiques, de faire une démarche scientifique*. » Ces trois points structurent ce qui va suivre (séquences B, C et D d'une durée totale de 17'09'').

Séquence B (3'24) : les hypothèses à la base de la modélisation

Les interactions portent autour de la diapositive projetée à propos de la perception de la lumière, du son, de ce qu'est la lumière, le son, l'éclair, le tonnerre. Les élèves semblent ne pas comprendre ce qui attendu en matière d'hypothèse, l'enseignant propose alors de reformuler le problème pour orienter les élèves, en recentrant la réflexion sur la comparaison des vitesses du son et de la lumière.

Séquence C (7'45) **:** les grandeurs physiques et la relation entre ces grandeurs (vitesse, distance, temps)

Cette séquence consiste à identifier les grandeurs pertinentes dans l'étude présentée (vitesse, distance, temps), et de retrouver la relation entre les grandeurs (v=d/t). La « bonne » relation est obtenue à partir des unités de grandeurs.

Pour conduire les élèves à revenir sur la question des hypothèses, l'enseignant veut les faire réfléchir sur la relation obtenue, sur la signification des grandeurs physiques, et plus

particulièrement sur la vitesse par rapport au problème traité. L'enseignant souhaite que les élèves se rendent compte qu'il n'est pas aisé de savoir rapidement de quelle vitesse il s'agit et de quelle durée. Le fait de trouver que v représente la vitesse du son et t la durée entre la perception de l'éclair et celle du son de l'orage participe d'un objectif lié à la première tâche : considérer que la lumière se propage instantanément est l'hypothèse attendue dans la séquence précédente.

Séquence D (6'08) : la démarche scientifique

L'enseignant énonce la « démarche » en prise avec la relation v=d/t : qu'est-ce qu'on mesure, qu'est-ce qu'on connaît, qu'est-ce qu'on veut obtenir ? Dans un deuxième temps, il généralise cette démarche comme un modèle de démarche valable dans tous les cas de figure que les élèves rencontreront par la suite (définition de grandeurs pertinentes pour un problème donné, relation entre les grandeurs, identifier celle qu'on connaît, celle qu'on mesure, et celle qu'on calcule). Les élèves doivent alors comparer les résultats donnés à l'aide cette démarche et ceux qui sont fournis par la technique rapide évoquée au début de la séance.

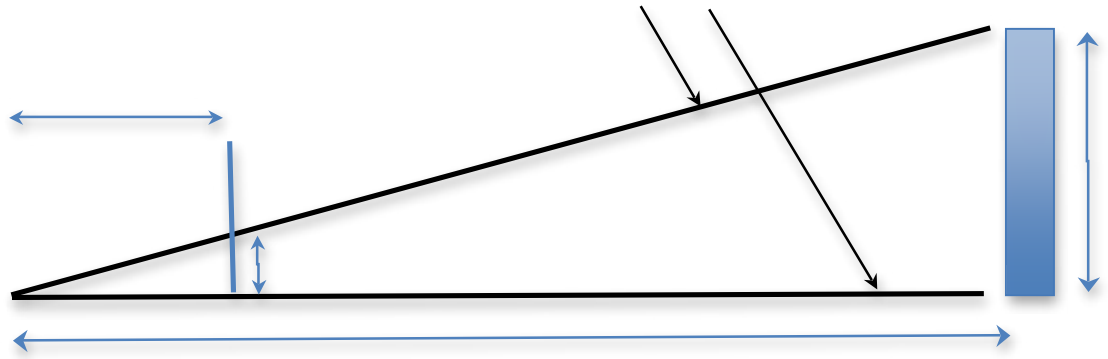
Séquence E (14'31) : Récapitulation du modèle des 3 étapes (hypothèses, grandeurs-relation entre les grandeurs, démarche) et application

L'enseignant récapitule et généralise les trois épisodes (hypothèses, grandeurs-relation entre grandeurs, démarche scientifique) comme un modèle épistémologique permettant d'aborder une question scientifique. Puis il montre sur une diapositive projetée un autre modèle épistémologique faisant état de la relation entre modèle théorique et expérience. Ce modèle est utilisé comme grille de lecture de ce qui vient d'être fait à propos de l'orage pour distinguer ce qui relève des mathématiques et ce qui relève de la physique.

Enfin, les élèves doivent réinvestir le modèle épistémologique des 3 étapes pour analyser le travail réalisé la veille sur la mesure de la dimension d'un objet éloigné.

(ndlr : il s'agissait dans la séance précédente d'estimer, par modélisation et calcul, la hauteur

d'un immeuble éloigné visible depuis la salle de classe. L'outil nécessaire à ce calcul est un modèle géométrique appelé « méthode de visée », lui-même étayé par le principe de propagation rectiligne de la lumière dans l'air et le théorème de Thalès ; la relation permettant d'obtenir la hauteur de l'immeuble est H = h.D/d



Séquence F (14'25) : Mise en commun des résultats issus du travail de la veille

Binômes par binôme, les résultats des élèves sur le travail réalisé la veille (hauteur de l'immeuble) sont consignés dans un tableau pour une mise en commun des résultats et leur discussion (nombre de chiffres significatifs, précision, validité).

2.2 Synopsis de la séance

séquence	durée	tdp	Type de tâche	Tâche/sous-tâche	technique	Concept explicite	Concept implicite
A	5'50	1-22	(Rappel de l'objet de la séance précédente et présentation de l'objectif de la séance. Présentation de la méthode courante de détermination de la distance d'un orage à un observateur)				
B	3'24	23-48	B. Identifier les hypothèses à la base de la modélisation d'un objet d'étude	B.1. Identifier que la durée estimée entre la perception d'un éclair d'orage le son du tonnerre repose sur l'hypothèse que la lumière se propage instantanément et que cette durée est égale par conséquent à la durée de propagation du son.	*B.1.t1. Le calcul de la distance entre l'orage et l'observateur ($d=v.\Delta t$) est calculée à partir de la durée Δt estimée entre la perception d'un éclair d'orage le son du tonnerre et la vitesse v du son. Cela suppose l'hypothèse que la perception de la lumière de l'éclair constitue l'origine des temps et que la lumière se propage instantanément (réalisation de la tâche)*	Modèle Hypot	Modèle
C	7'45	50-124	C. Identifier la relation mathématique entre les grandeurs physiques en jeu.	C.1. Identifier la relation mathématique entre les grandeurs physiques en jeu dans la méthode.		Hypot	

D	6'08	124 - 183	D. Identifier dans la modélisation les 3 étapes de la démarche « *Qu'est-ce qui est mesuré ? Qu'est-ce qui est connu ? Qu'est-ce qu'on veut obtenir ?* »	D.1. Identifier dans le cas de l'orage quelle est la grandeur mesurée, la grandeur connue, la grandeur que l'on veut obtenir par le calcul.		Expce	modèle
E	14'31	184 - 221	**Tâche « épistémologique »** E.a. Récapituler les diverses phases dans la modélisation conduite dans la séance pour en dégager une méthode d'investigation (modèle des tâches B, C et D) E.b. Analyser le travail conduit dans la séance à partir d'un modèle épistémologique (du point de vue de la distinction entre ce qui relève des mathématiques et ce qui relève de la physique). E.c. Analyser le travail réalisé dans une séance antérieure sous l'angle du modèle des 3 tâches	E.a.1. Récapituler le travail conduit lors de la séance actuelle à propos de l'estimation de la distance qui sépare un orage d'un observateur. E.b.1. Analyser la modélisation de l'estimation de la distance d'un observateur à un orage à partir d'un modèle épistémologique (du point de vue de la distinction entre ce qui relève des mathématiques et ce qui relève de la physique). E.c.1. la hauteur d'un immeuble éloigné selon la méthode d'analyse utilisée dans le cas de l'orage.	*E.b.1.t. identifier dans la démarche suivie jusque là ce qui relève des mathématiques et ce qui relève de la physique* *E.c.1.t. Identifier dans l'ensemble du travail réalisé lors de la séance portant sur l'estimation de la hauteur d'un immeuble éloigné :* • *les hypothèses à la base de la modélisation (géométrique)* • *les grandeurs physiques pertinentes dans la modélisation et leur signification générale et spécifique au problème posé* • *la grandeur mesurée, la grandeur connue et la grandeur que l'on souhaite obtenir*	Analyse épist Modèle Hypot expce	Modèle

F	14'25	222 - 333	F. Echanger des résultats et les discuter (écriture (nombre de chiffres significatifs), précision, validité).	F.1. Mettre en commun les résultats obtenus lors de la séance précédente et les discuter.	*F.1.t. Comparer les différents résultats (hauteur de l'immeuble) obtenus du point de vue de leur écriture, de leur précision et de leur validité*	Expce	

2.3 Analyse à l'échelle mésoscopique

Séquence B (23-48) (3'24) : Identifier que la durée estimée entre la perception d'un éclair d'orage et le son du tonnerre repose sur l'hypothèse que la lumière se propage instantanément et que cette durée est égale par conséquent à la durée de propagation du son.

Cette tâche explicitement formulée se caractérise d'emblée par sa courte durée. Elle laisse place à la tâche suivante sans avoir été réalisée, bien que l'enseignant a reformulé son objet à plusieurs reprises (tdp 27, 32, 34).

tdp 32	P : « Quelle hypothèse on fait pour appliquer la méthode précédente ? »
tdp 34	P : « tu vois l'éclair et t'entends après, mais, avant de faire le calcul, on va faire une hypothèse particulière, pour justifier ces calculs, pourquoi ces calculs... »

Une raison se trouve sans doute dans le manque de sens associé au terme d'hypothèse : la signification du mot « hypothèse » est à demi-explicitée uniquement au tdp 34 :

tdp 34	P : « J'ai dit 10s, je divise par 3, ça me donne à peu près 3,3 km, ça c'est le calcul que j'ai fait. La méthode c'est, vous divisez par trois le nombre seconde vous avez des kilomètres, vous appliquez bêtement. Ca vient d'où, ça, pourquoi c'est juste de faire ça ? »

Cependant, l'enseignant ne propose pas de technique lisible adaptée à cette tâche. Nous l'inférons à partir des interactions qui guident l'étude tout au long de la séquence.

- *B.1.t1. Le calcul de la distance entre l'orage et l'observateur ($d=v.\Delta t$) est calculée à partir de la durée Δt estimée entre la perception d'un éclair d'orage le son du tonnerre et la vitesse v du son. Cela suppose l'hypothèse que la lumière se propage instantanément et ainsi que la perception de la lumière de l'éclair constitue l'origine des temps. Δt représente alors la seule durée de propagation du son.*

Mais cette technique qui est sans doute une des plus simples suppose de comprendre le processus dans son ensemble, et d'avoir posé préalablement que la lumière et le son se propagent selon des modèles analogiques (ondes) à des vitesses différentes.

Séquence C (50-124) (7'45) : Identifier la relation entre les grandeurs physiques dans la méthode de détermination de la distance d'un orage.

Cette séquence se déroule sur une conduite d'étude très serrée par l'enseignant, et la tâche se déroule en trois étapes explicites réalisées sans convoquer de technique particulière :

1. Les propos de l'enseignant « *Quelles sont les grandeurs physiques pour décrire cette situation* » (tdp 50) introduit cette seconde séquence, puis est reformulée en tdp 54.
2. Puis vient la nécessité d'associer aux grandeurs leur signification précise dans le cas de l'étude en cours : (tdp 69) et en tdp 56, » en tdp 60, en tdp 103.

tdp 56	P : « quel temps ? »
tdp 60	P : « La vitesse, la vitesse de quoi ? »
tdp 69	P : « Quelle relation on a entre ces trois grandeurs »
tdp 103	P : « vous avez craché une formule v égale d sur t, mais vous avez pas bien réfléchi à ce qu'il y avait là dedans »

3. Enfin d'énoncer la relation liant la vitesse, le temps et la distance

Cette tâche permet de revenir sur l'objectif visé lors de la séquence précédente (hypothèses) en usant d'un « effet topaze » : (tdp 110) « *Est-ce qu'on s'occupe du temps que met la lumière pour venir jusqu'à notre oeil* ? » et de conclure à l'hypothèse recherchée « *Donc on fait une première hypothèse : la lumière arrive instantanément à notre oeil, en tout cas énormément plus vite que le son, et que le décalage qu'on voit entre les deux, c'est lié uniquement au temps que met le son pour venir*. » (tdp 114)

Séquence D (124-183) (6'08) : Identifier dans le cas de l'orage quelle est la grandeur mesurée, la grandeur connue, la grandeur que l'on veut obtenir à partir des deux autres ; Vérifier que la relation obtenue est conforme à la méthode exposée à la séquence A.

Ici aussi comme dans la séquence précédente la tâche est conduite de manière très serrée

et sans technique apparente. Un élément à noter toutefois consiste à introduire en tdp 148 l'idée que cette tâche relève d'un type de tâche qui sera mis en œuvre ultérieurement

sur d'autres objets d'étude :

tdp 148	P : « Alors, raisonnement classique que vous ferez jusqu'à la fin de l'année très souvent, vous avez défini des grandeurs pour un problème, vous avez trouvé une formule qui relie ces grandeurs, vous regardez celles que vous voulez trouver, celles que vous connaissez déjà, celles que vous mesurez, et au final on fait un calcul avec»

La seconde partie de la tâche consiste à contrôler la bonne relation entre les grandeurs à l'aide des unités de ces grandeurs. Enfin, elle se termine par le contrôle de conformité des résultats donnés par la relation à ceux obtenus à l'aide de la méthode traditionnelle (exposée en séquence A)

Séquence E (184-221) (14'31) : Tâche épistémologique

Trois tâches complémentaires sont en jeu dans cette séquence :

la première est une récapitulation des tâches précédentes (B, C et D) pour en faire par généralisation une méthode d'investigation utilisable dans d'autres contextes:

Cette tâche est réalisée par l'enseignant : il en explicite l'objectif :

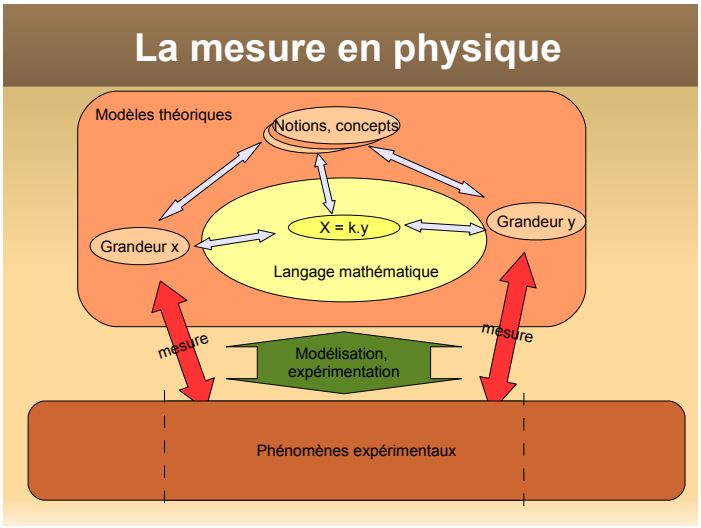
tdp 184	P : « voilà une situation et on a une question scientifique qui est comment déterminer la distance de l'orage ? On va modéliser cette expérience avec des outils de la physique. »

et la technique nécessaire pour la réaliser (désignée par l'enseignant de « *démarche* »)

- *E.b.1.t1. Identifier dans l'ensemble du travail réalisé jusque là : les hypothèses à la base de la modélisation (géométrique) ; les grandeurs physiques pertinentes dans la modélisation et leur signification générale et spécifique au problème posé la grandeur mesurée ; la grandeur connue et la grandeur que l'on souhaite obtenir ; l'analyse critique des résultats*

tdp 184	P : « Quelles sont les hypothèses qu'on fait ? »
tdp 188	P : « Les grandeurs qu'on utilise »
tdp 188	P : « si j'en connais deux des trois, je peux trouver la troisième »
tdp 188	P : « Quelle est la dernière chose qu'on fait ? Quand on fait un raisonnement en physique, on se pose toujours une question sur la validité du résultat qu'on obtient »

La seconde (188-196) est une analyse épistémologique de ce qui a été réalisé lors des séquences précédentes en référence à un modèle épistémologique présenté aux élèves (diapositive), mettant en relation les « phénomènes expérimentaux » et les « modèles théoriques » :



tdp 188	P : « Quel lien y a t'il entre les mathématiques. Voyez là on a fait un petit exemple avec les calculs, on a utilisé des maths, des maths pas très compliquées, et la physique. Dans tout ce que j'ai fait, qu'est-ce qui relève des maths et qu'est-ce qui relève de la physique et en quoi les maths sont un outil pour la physique. »

La troisième sous-tâche (196-221) est une analyse du même type que la première en

prenant pour objet d'étude une séance de TP réalisée lors d'un séance précédente à propos de la mesure de la dimension d'un objet éloigné (cf. analyse a priori). Cette tâche laissée à la charge des élèves qui doivent la terminer chez eux, n'est pas conduite jusqu'au bout. Elle est réalisée selon la technique E.b.1.t1 constituées des tâches B, C, D.

Séquence F (222-333) (14'25) : Mettre en commun des résultats de mesure de la hauteur de l'immeuble (séance précédente) et discussion de ces résultats

Cette séquence ne se situe pas dans la continuité de la précédente, mais dans la suite de la séance précédente portant sur la mesure de la hauteur de l'immeuble : les élèves doivent mettre en commun les résultats obtenus et l'enseignant anime des échanges autour de la discussion de ces résultats. Ici aussi, le guidage de l'étude est serré, et l'enseignant pose des questions ciblées portant sur les différents aspects de la manière de critiquer les résultats :

Mise en commun des résultats :

tdp 222	P : « tous ceux qui pensent avoir fait un raisonnement correct avec des mesures valables vous venez marquer ici le résultat de votre mesure, c'est la distance, la hauteur de l'immeuble que vous trouvez. Allez, vous vous levez et vous venez le marquer»

Discussion des résultats :

tdp 247	P : « Bon, qu'est-ce que vous en pensez de ces résultats, là ? »

Ecriture des résultats :

tdp 257	P : « (…) c'est que tout résultat en physique doit être correctement arrondi, ni trop, ni pas assez, en fonction de la précision escomptée (…) »

Vérification de la validité des résultats par une autre méthode :

tdp 286	P : « il a essayé de trouver le même résultat par une autre méthode, donc là en gros en comptant le nombre d'étages, en estimant la taille d'un étage. Ca c'est très courant en physique, on fait une expérience pour mesurer quelque chose, on sait pas si cette expérience elle est très fiable ou pas, et ben si j'ai une autre méthode qui

	donne un résultat et qui co... qui a la même valeur et ben on peut avoir confiance dans notre résultat.»

Objectivation de la prise de mesure pour augmenter la fiabilité de l'expérience :

tdp 292	P : « quand vous étiez tous en train de faire vos mesures, faites là deux fois, chacun doit la faire, parce qu'il y en a un qui la fait, comment est-ce qu'on a un moyen de vérifier que la lecture qu'il a faite sur la règle c'est la bonne ? Peut-être qu'il s'est trompé de graduation, peut-être que la personne qui a obtenu 73 m, elle a mal lu sur la règle, comment faire pour vérifier ça ? »
tdp 299	P : « et qu'est-ce qu'on essaie de faire pour éviter ce genre de problème ? »
tdp 309	P : « si on prend une photo avec un appareil photo de la règle et qu'on mesure bien et qu'on mesure bien proprement la distance entre l'appareil photo... on peut espérer améliorer la fiabilité de notre expérience »

Amélioration de la précision de la mesure :

tdp 313,315	P : « je propose pour ceux qui le veulent lundi prochain (…) d'approfondir, c'est-à-dire de faire en sorte que les résultats ce soit pas des valeurs qui vont de 37 à 73 m mais soit quelque chose de plus précis ou vous me donnez un résultat mais avec une précision »

2.4 Analyse microscopique

Dénomination et occurrence du concept	**Modèle, modélisation, modéliser (20)**			
Objet ou sens de la désignation	De nature mathématique (géométrique), il sert à expliquer l'expérience	Est à l'origine d'une relation entre grandeurs	Se situe au niveau théorique : comprend des notions, des concepts et des relations entre eux	S'applique à une situation de la physique, utilise des calculs, nécessite des hypothèses, des grandeurs physiques et une démarche scientifique
Occurrences en lien avec le sens du concept	5	1	3	4
séquence	E	E	E	B,E
Tour de parole	196, 212, 214	214	192,194	23, 25, 184
extraits du corpus	« Pour expliquer ça (l'expérience) vous faites un schéma dans lequel vous faites de la géométrie »	« Grâce à ça (le modèle géométrique) vous trouvez la relation entre les grandeurs » « Cette relation elle provient de ce qu'on va appeler un modèle géométrique »	« donc la physique telle qu'elle fonctionne, j'ai des modèles théoriques avec des notions, des concepts et des relations entre eux »	« comment on utilise l'outil mathématique dans cette modélisation » « qu'est-ce que la modélisation : on fait des hypothèses, on utilise des grandeurs physiques, on a une démarche scientifique » « Je vais utiliser cet exemple pour montrer ce qu'est une modélisation d'une situation physique »
Niveau d'explicitation maximum du sens du concept	e3	e1	e3	e3

Dénomination et occurrence du concept	Hypothèse (16)			
Objet ou sens de la désignation	**aucun**	**Sert à justifier les calculs, à simplifier les raisonnements**	**Enoncé d'une hypothèse particulière**	**Composante d'une démarche de modélisation**
Occurrences en lien avec le sens du concept	2	2	4	8
séquence	B	B, C	C,E	E
Tour de parole	25, 27,32	34, 110	114, 121, 184, 202	184 (6 fois), 186, 188
extraits du corpus	« on fait des hypothèses, lesquelles ? »	« on va faire une hypothèse particulière pour justifier les calculs » « quelle hypothèse on fait pour simplifier nos raisonnements ? »	« je ne l'utilise pas comme hypothèse (la lumière est énormément plus rapide que le son) »	« On va modéliser cette expérience avec des outils de la physique ; pour cela on va faire des hypothèses… »
Niveau d'explicitation maximum du sens du concept	?	e1	e1	e1

Dénomination et occurrence du concept	Expérience (13)				
Objet ou sens de la désignation	**Sert à faire des mesures**	**Phénomène destiné à être modélisé avec de outils de la physique**	**Est caractéristique des sciences physiques par rapport aux mathématiques**	**Est expliquée par un modèle géométrique**	**Est discutable du point de vue de sa fiabilité**
Occurrences en lien avec le sens du concept	6	2	1	2	2
séquence	D,E,F	E	E	E	F
Tour de parole	147, 196, 214, 239, 286	184	196	214	286, 307
extraits du corpus	« vous faites une autre expérience pour la mesurer » « le temps, il se mesure, c'est-à-dire que selon mon expérience je vais pouvoir déterminer une valeur pour ce temps, en comptant dans ma tête. » « voilà l'expérience voilà ce que vous voyez avec votre règle »	« On va modéliser cette expérience avec des outils de la physique »	« Quand on fait des maths, a priori on ne cherche pas à faire des expériences pour confronter ce qu'on a fait avec l'expérience »	« voilà l'expérience voilà ce que vous voyez avec votre règle ; ben pour expliquer ça (…) ça s'appelle faire un modèle géométrique »	« on sait pas si cette expérience elle est très fiable ou pas, et ben si j'ai une autre méthode qui donne un résultat et qui co... qui a la même valeur et ben on peut avoir confiance dans notre résultat. »
Niveau d'explicitation maximum du sens du concept	e1	e1	e2	e1	e3

2.5 Synthèse des résultats

2.5.1 A l'échelle mésoscopique

Même si la séance observée est relativement proche du contenu du programme, elle s'en démarque dans l'esprit. Cet enseignant, tout comme l'enseignant B, revendique des choix forts dans la manière de s'appuyer sur la notion de modèle pour organiser les contenus scientifiques, même si les visées sont ici différentes. Les différentes tâches en œuvre découpent la séance selon des activités en lien avec l'activité scientifique (identifier des hypothèses, identifier les grandeurs physiques en jeu dans le modèle et la relation entre ces grandeurs, discuter de résultats de mesure).

Mais la séance est surtout centrée sur une analyse de type épistémologique de la manière dont est construit un modèle. Mais cette analyse n'est pas construite ex-nihilo à partir seulement de l'exposé du modèle à analyser : elle est orientée par un cadre précisant en trois points : les hypothèses à l'origine de ce modèle, les grandeurs physiques présentes dans le modèle et enfin la démarche consistant à repérer parmi les grandeurs celle qui est déjà établie, celle qui doit faire l'objet d'une mesure et la dernière qui est déterminée par le calcul à partir des deux autres. Chacun de ces points fait l'objet d'une tâche (A, B, et C) et seule la tâche A nécessite vraiment une technique particulière pour la réaliser. Cette technique n'est d'ailleurs pas explicitée aux élèves.

Un autre niveau d'analyse est conduit à l'intérieur de ce cadre, et vise à utiliser un autre cadre épistémologique, analogue à celui utilisé par le sujet B, permettant de distinguer ce qui relève du champ expérimental de ce qui relève du champ théorique.

Le cadre en trois points est utilisé une première fois collectivement pour analyser le modèle permettant d'évaluer la distance qui sépare un orage d'un observateur, avant d'être réinvesti individuellement par les élèves pour analyser le modèle construit lors de la séance précédente sur la détermination de la dimension d'un immeuble éloigné. Au-delà de ces deux exemples, l'enseignant souhaite que les élèves soient en mesure de réutiliser

ce cadre comme une méthode pour aborder des « questions scientifiques » diverses qui seront rencontrées ultérieurement en classe (tdp 148 et 188). Il s'agirait donc probablement d'un cadre d'analyse qui servirait également de méthode pour élaborer des modèles.

Mais les deux cadres ne sont, selon nous, pas de même nature : alors que celui qui vise à distinguer les champs expérimental et théorique sont tout à fait en accord avec notre cadre théorique, comment dans le cas de l'enseignant B, nous ne connaissons pas de référence épistémologique au cadre d'analyse épistémologique qui constitue l'essentiel de l'activité conduite en classe (ce que nous avons appelé l' « analyse en trois points »). De plus, cette méthode vise à faire apprendre aux élèves une manière « r*igoureuse de faire de la physique* » (tdp 184) via l'activité de modélisation conduite en classe, activité par définition différente de l'activité scientifique, en cela au moins pour une raison : l'activité conduite en classe est une activité didactique qui vise à l'appropriation par les élèves de savoirs déjà élaborés.

La théorie/technologie épistémologique associée à cette praxis relève selon nous de l'idée selon laquelle, comme pour l'enseignant B, l'épistémologie est une activité d'analyse qui porte sur l'activité scientifique, et qu'elle nécessite pour cela un cadre de référence. Mais dans ce cas, le cadre de référence n'est pas issu d'une transposition de savoirs de référence de l'épistémologie : il semble que ce cadre ait été élaboré par l'enseignant de manière à pouvoir analyser certains types de savoirs scientifiques, en l'occurrence ceux qui touchent aux méthodes de mesure.

2.5.2 A l'échelle microscopique

Les concepts auxquels l'enseignant fait explicitement référence sont ceux de « modèle » et « modélisation », « expérience » et « hypothèse ».

Les principales significations associées au terme de modèle sont conformes à notre cadre de référence : le modèle sert à expliquer, est à l'origine de relations entre grandeurs

physiques, contient des notions, des concepts, et des relations entre ces concepts, des grandeurs physiques, s'applique à une situation de la physique, utilise des calculs, et nécessite de faire des hypothèses.

En revanche, les différentes significations des termes d'hypothèse et d'expérience manquent de précision dans leur définition ou ne correspondent pas toutes à notre cadre épistémologique. D'ailleurs, comme dans le cas du sujet A, les concepts explicités dans chaque séquence ne correspondent pas selon notre analyse aux concepts en jeu dans la séquence correspondante (deux dernières colonnes du synopsis). D'abord, le terme d'hypothèse est très souvent utilisé dans la séquence portant sur l'identification d'hypothèses (séquence B) sans qu'il soit possible de déterminer le sens qu'il lui est attribué, hormis que ce concept est une partie importante de la démarche de modélisation ; par la suite, le terme d'hypothèse est associé à différents contenus spécifiques qui ne permettent pas à eux seuls de définir ce concept. Cette notion doit être vraisemblablement considérée par l'enseignant comme un prérequis des élèves pour analyser le modèle qui leur est proposé. Mais la tâche d'identification des hypothèses n'aboutit pas, et cela peut être expliqué par le fait que les élèves n'accordent justement pas de sens à ce terme, surtout pour réaliser une tâche pour laquelle la technique n'est de surcroît pas précisée.

Enfin, le terme d'expérience est associé à celui de phénomène destiné à être à la fois modélisé à l'aide d'outils de la physique, et expliqué à l'aide d'un modèle géométrique. De plus, l'enseignant parle de fiabilité de l'expérience alors que du point de vue épistémologique ce sont les résultats de mesure qui sont discutables et non l'expérience en elle-même qui, si elle est discutable, ne l'est que du point de vue de son adéquation à la question scientifique posée. Les différentes significations que donnent l'enseignant au terme d'expérience renvoient ainsi davantage au concept de « méthode de mesure » qui correspond bien à ce dont il est question dans la séance qu'à celui d'expérience dans le sens où nous l'entendons du point de vue épistémologique.

Au vu des intentions affichées par cet enseignant et du travail qu'il a réalisé en amont à propos de ce qu'est la science et ce qu'est la mesure, il apparaît un écart significatif avec ce que nous tirons de l'analyse de la séance, notamment du point de vue d'un manque de précision dans la mise en œuvre des séquences d'activité de la physique, et dans la définition des concepts utilisés dans ces séquences.

Conclusion et Discussion

A l'issue des résultats obtenus que nous synthétisons à l'aide d'un tableau récapitulatif, nous allons discuter ces derniers pour chacun des enseignants et de manière comparative, à l'aune des hypothèses qui sont à l'origine des analyses. Nous examinerons ensuite les apports de cette étude tout en gardant un point de vue critique sur la méthodologie adoptée, sur son intérêt mais aussi sur ses limites qui restreignent le champ de validité des résultats. Nous essaierons de décrire la part subjective du chercheur dans le modèle d'enseignement sous-jacent à nos analyses. Enfin, nous tenterons de dessiner quelques pistes de recherche à venir en continuité de ce travail mais aussi en contradiction, ces deux directions visant à en consolider les conclusions. Enfin, nous finirons par ébaucher des perspectives que cette recherche permet d'envisager en matière d'enseignement de l'épistémologie en classe de physique dans le secondaire et de formation des enseignants de cette discipline, voire des enseignants de sciences expérimentales en général.

1 Synthèse, analyse comparée et interprétation des résultats

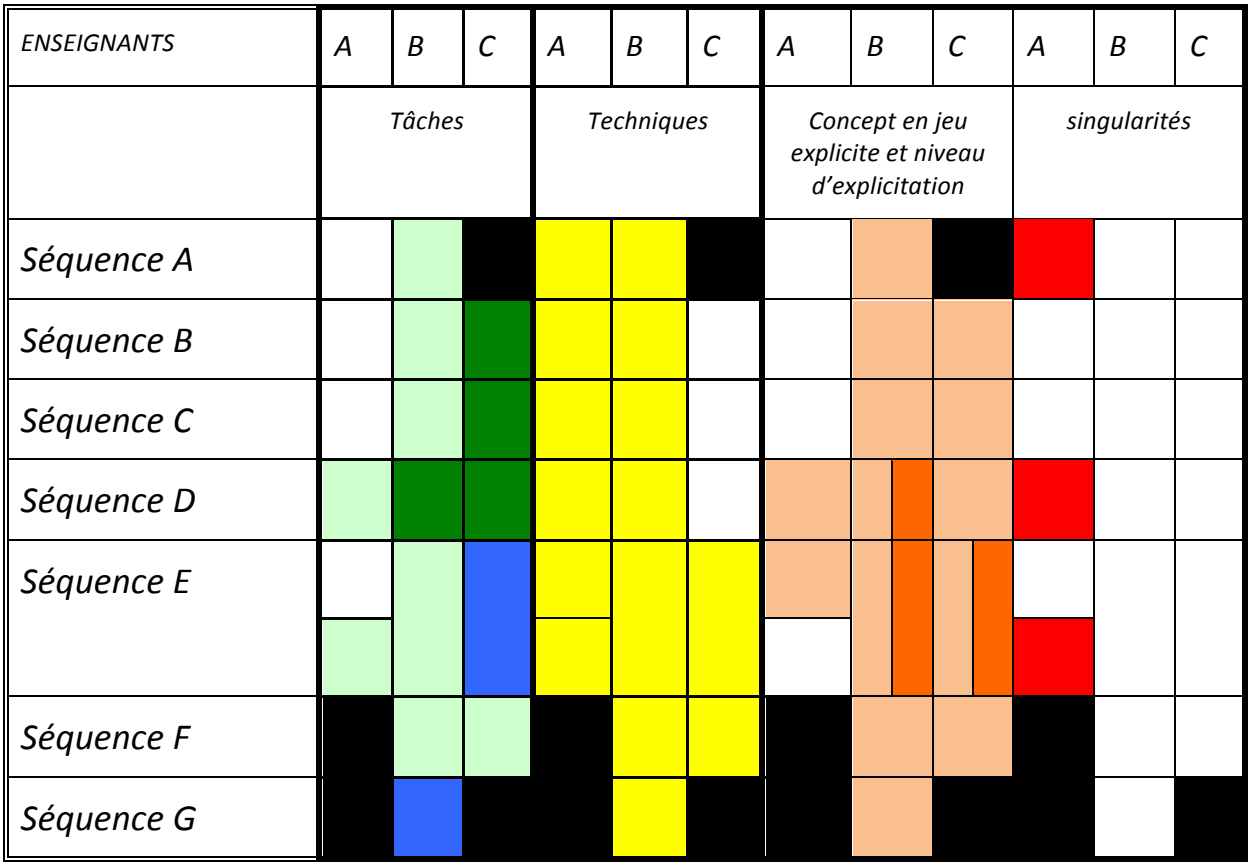
1.1 Tableau récapitulatif des résultats

En appui des commentaires qui suivent, nous présentons de manière synthétique dans un tableau les principaux résultats. Ce tableau reprend les catégories d'analyse mises en œuvre pour l'étude des praxéologies : les moments d'étude d'une séance font l'objet d'un découpage en tâches, et ces dernières structurent la séance en séquences. Ces tâches sont proprement épistémologiques ou bien portent sur un concept épistémologique en lien avec

l'activité de la physique. Elles sont en œuvre en tant que telles dans les séances et sont réalisées au moyen d'une technique, ou bien n'apparaissent pour le chercheur que par un assemblage de techniques. Toute cette partie constitue l'étude de la praxis. Enfin, l'analyse de chaque tâche au niveau des interactions permet de savoir ce qui est dit à propos des concepts épistémologiques qui caractérisent la séquence, et c'est ce qui nous permet d'avoir accès au « logos » qui légitime les tâches ou les sous-tâches et les techniques en œuvre au cours de cette séquence.

Ces résultats sont présentés de manière indépendante des savoirs épistémologiques en jeu (bien qu'ils soient relativement proches) et des savoirs de la physique dans lesquels ils sont instanciés. Chaque colonne représente l'intégralité de la séance observée, fractionnée en nombre de séquences identifiées lors de notre analyse mésoscopique. Pour chacune de ces séquences sont figurées selon un code de couleur les caractéristiques suivantes :

Absence de moment d'étude	
Tâche spécifiquement épistémologique	
Tâche d'activité de la physique	
Tâche qui nécessite le réinvestissement d'une technique associée à une tâche antérieure	
Technique nécessaire à la réalisation de la tâche	
Concept épistémologique explicite associé à la tâche principale de la séquence	
Niveau d'explicitation du concept épistémologique principal associé à la tâche > e2	
Singularités de la signification des concepts épistémologiques / cadre théorique	



1.2 Tâches en œuvre dans les séances

Si les intentions des enseignants ne sont pas identiques, elles convergent toutes sensiblement sur l'importance d'enseigner ce qui relève des modèles et de la modélisation en physique, que ce soit au niveau de l'utilisation de modèles et/ou de la construction de modèles. L'analyse des corpus pondérée par les intentions des enseignants, nous a permis de distinguer des éléments caractéristiques de leurs pratiques d'enseignement. Les résultats issus des analyses sont de différentes natures :

Tout d'abord, ainsi que nous l'avions supposé, les objectifs principaux visés restent d'enseigner des savoirs de la physique, et ces derniers constituent différentes modalités de contextualisation des savoirs de l'épistémologie, voire d' « instanciation » dans la mesure où ils donnent corps à la réalité des savoirs épistémologiques. Mais les formes d'instanciation

diffèrent d'un enseignant à l'autre : deux enseignants sur trois (B et C) intègrent dans leur séance des séquences qui relèvent de tâches spécifiquement épistémologiques semblables (séquence C pour sujet C et séquence D pour sujet B). Cette tâche consiste à conduire une analyse épistémologique sur la nature des savoirs de la physique sur lesquels ils ont travaillé durant la séance à partir de modèles épistémologiques semblables inspirés du modèle des deux mondes. L'utilisation de ce modèle épistémologique par ces enseignants n'est pas exceptionnelle à cette séance comme en attestent les propos de l'enseignant (tdp 44 pour l'enseignant B ; tdp 188 pour l'enseignant C). Cependant, ce modèle épistémologique n'est pas utilisé tout à fait de la même manière dans les deux cas :

- pour l'enseignant B, il s'agit de retracer a posteriori le cheminement suivi conjointement entre les deux mondes lors de l'activité de modélisation, par localisation dans ce modèle épistémologique des étapes de la construction des savoirs de la physique. Ce travail est préparé en amont à la fois par l'identification à chaque étape de la nature des savoirs travaillés selon ce même modèle épistémologique, et par la distinction des registres de langage (langage de la physique / langage courant) dans lesquels sont utilisés les concepts de la physique.
- pour l'enseignant C , il s'agit d'utiliser ce travail pour distinguer ce qui relève des mathématiques dans le registre du modèle et ce qui relève de la mesure dans le registre des « phénomènes expérimentaux ».

Si l'utilisation est différente, elle est corrélée aux objectifs différents que se donnent ces deux enseignants :

- Pour l'enseignant B, l'objectif est de favoriser l'apprentissage de la physique à la fois en réduisant par ce travail la confusion des registres de langage. Ceci nécessite d'apprendre à adopter systématiquement le registre de la physique, ainsi qu'une une vision générale de la nature des savoirs et du fonctionnement de la physique, indépendamment des thèmes traités. C'est

dans ce but que l'enseignant utilise ce qui est du domaine des modèles et de la modélisation comme un outil de structuration de son enseignement.

- Pour l'enseignant C, l'objectif est de faire comprendre aux élèves que la modélisation requiert une méthode d'analyse des problèmes scientifiques en trois étapes (technique E.c.1.t) : les hypothèses à la base de la modélisation ; les grandeurs physiques pertinentes dans la modélisation et leur signification générale et spécifique au problème posé ; la grandeur mesurée, la grandeur connue et la grandeur que l'on souhaite obtenir.

Mais la séance de l'enseignant C contient deux autres tâches épistémologiques, tâches d'analyse à partir de cette méthode en trois étapes d'un modèle déjà établi et décrit par l'enseignant (modèle de la mesure de la distance d'un orage à un observateur), et d'une modélisation en physique élaborée en classe antérieurement (modèle de la mesure indirecte d'un immeuble à grande distance d'un observateur). Les tâches épistémologiques occupent ainsi une grande partie de la séance.

Le reste des tâches relève de l'activité de la physique, et plus précisément des modèles et de la modélisation en physique (pour les enseignants A et B), que ce soit au niveau de l'utilisation de modèles et/ou pour prévoir ou interpréter un phénomène, ou de la construction de modèles, conformément en cela aux objectifs formulés. Pour l'enseignant C, la tâche d'activité de la physique porte sur la discussion de résultats expérimentaux. Ces tâches qui selon nous sont du domaine de la praxéologie didactique de la physique ne sont pas mises en œuvre de la même manière :

- La séance conduite par l'enseignant B est la seule dans laquelle les tâches d'activité de la physique sont en tant que telles laissées à la charge des élèves, que ce soit au niveau des documents de travail dont ils disposent qu'à travers les propos de l'enseignant qui marquent l'entrée dans la tâche. Dans la plupart des cas, les techniques nécessaires à leur réalisation sont aussi explicitées dans la conduite de l'étude. Nous retrouvons ici de nouveau une cohérence entre les tâches de modélisation en œuvre dans la séance et

l'objectif de l'enseignant de structurer la séance sous cet aspect.

- La séance de l'enseignant A est aussi marquée par des tâches de modélisation et d'utilisation de modèle. Cependant, les tâches de modélisation ne sont pas en œuvre en tant que telles. Cette structuration ne relève pas d'un objectif de l'enseignant mais de notre analyse pondérée par l'identification de tâches d'activité de la physique. Nous avons obtenu ces dernières à partir de regroupement de techniques permettant de réaliser les tâches d'activité de modélisation.

Les sujets B et C sont ceux chez qui l'enseignement de l'épistémologie passe à la fois par des tâches épistémologiques couplées à des tâches d'activité de la physique, lisibles au niveau mésoscopique, et accompagnées le plus souvent de techniques nécessaires à leur réalisation. Mais qu'en est-il au niveau du discours des enseignants relativement aux concepts en jeu dans les séquences ?

1.3 Analyse microscopique et articulation des deux échelles d'analyse

Nous avons donc réalisé une analyse au niveau microscopique des tâches pour identifier ce que les enseignants disent aux élèves à propos des concepts épistémologiques qu'ils désignent dans leur discours. Cette analyse porte sur les concepts qu'ils ont l'intention d'enseigner, que ce soit au niveau de la nature épistémologique des savoirs de la physique qu'au niveau du fonctionnement de la physique. L'ensemble des propos à ces sujets permet de caractériser le « logos » de la praxéologie de l'enseignant, ce que nous considérons comme la composante publique du rapport de l'enseignant aux objets de savoir épistémologique. Il nous semble de toute évidence difficile de limiter le « logos » à ce qui est dit par l'enseignant à l'échelle d'une séance. Toutefois, quelques points sont à noter :

On peut observer globalement au vu des niveaux d'explicitation très souvent inférieurs à e3 que les concepts sont souvent peu décontextualisés des savoirs du thème de physique de la séance précisément et rarement définis : leur définition permettrait pourtant aux élèves de

les reconnaître quels que soient les savoirs de la physique sur lesquels ils portent ; à défaut de définition précise, les décontextualiser permettrait au moins aux élèves de se construire une définition par recoupement des diverses contextualisations. La définition ferait-elle partie des prérequis des élèves, et/ou bien le travail de conceptualisation, de définition ou d'inférence à partir de quelques cas serait-elle alors à leur charge ? Ceci serait dans un sens légitime dans le cas où cet enseignement serait fréquent tout au long de l'année, mais peu efficace s'il reste ponctuel.

L'articulation de cette échelle d'analyse microscopique avec les tâches apporte quelques éclairages notables sur le succès ou les difficultés dans la réalisation des tâches, en relation avec le rapport des enseignants aux objets de savoirs qu'il enseignent et le rapport institutionnel à ces même objets de savoirs : nous l'observons notamment dans le cas de l'enseignant C à propos du concept d'hypothèse ; ce concept est parfois désigné sans être défini, et quand il est accompagné d'une proposition qui lui donne du sens, soit la proposition est liée à un savoir particulier de la physique (« *la vitesse de la lumière très grande devant celle du son* »), soit elle précise sa fonction (sert à justifier les calculs, à simplifier les raisonnements, est une composante d'une démarche…). Bien qu'aucun de ces indicateurs de ce que connaît l'enseignant à propos du concept d'hypothèse ne soit incompatible avec notre cadre de référence à ce sujet, ils ne nous permettent pas de définir précisément ce concept, et nous pensons qu'il doit en être de même pour les élèves.

Or, l'identification des hypothèses par l'analyse a posteriori d'un processus de modélisation est une des tâches en œuvre dans la séance observée (séquence B). L'enseignant considère-t-il sans doute que la définition et la capacité de reconnaître une hypothèse fait partie des prérequis des élèves puisque ce concept n'est pas précisé dans la séance. La réalisation de cette tâche, en l'absence de prise en charge par les élèves tourne court (3'24) et conduit l'enseignant à enchaîner avec la deuxième tâche à l'issue de laquelle il reviendra sur la résolution de la première en jouant d'un effet Topaze.

Par contraste, le rapprochement des analyses aux deux échelles nous permettent de constater que non seulement le sujet B structure la séance en tâches épistémologiques et

d'activité de la physique autour du concept de modèle, mais que son discours à ce sujet occupe toute la durée de la séance et présente un plus haut niveau de définition et de généralisation du concept de modèle que chez les autres enseignants. Cette cohérence dans les résultats aux différentes échelles (tâches, techniques, interactions) pourrait être un indicateur d'une certaine maîtrise didactique, qui est à rapprocher de notre observation d'une grande autonomie des élèves dans la prise en charge et la réalisation des tâches prescrites.

Par ailleurs, le rapprochement des analyses aux deux échelles chez l'enseignant A nous a permis d'identifier que cet enseignant ne parle de modélisation alors que la tâche s'y prête et que la manière dont il parle du concept de force relève d'une confusion entre les registres du modèle et de l'empirique (p. 228). Pourquoi alors l'enseignant manque-t-il dans les trois séquences A, B et C toutes les occasions de traiter de la modélisation dans un contexte différent de celui des séquences D et E, et ainsi de contribuer à l'apprentissage de ce que désigne ce concept ?

Ces trois faits contrastés nous conduisent à chercher une interprétation dans l'influence du contexte d'enseignement, qui a constitué un paramètre dans le choix des enseignants de cette étude.

1.4 L'influence du contexte d'enseignement et relations aux institutions de formations et de recherche en didactique.

Nous avons adopté initialement l'hypothèse selon laquelle l'enseignement de l'épistémologie est contraint par l'impératif de l'enseignement des savoirs de la physique. Or enseigner l'épistémologie relève d'une logique de transposition un peu particulière dans laquelle les enseignants disposent d'une grande marge de manœuvre dans la définition du savoir à enseigner en l'absence de prescriptions précises. Observer des pratiques d'enseignement de l'épistémologie permet de mettre en œuvre une partie des conceptions de l'enseignant sur l'épistémologie, conceptions non seulement pensées, mais agies, qui

correspondent à celles qu'il mobilise dans une institution particulière. Si nos analyses ne permettent pas de savoir précisément comment les facteurs agissent sur cette transposition, on peut percevoir qu'elle est plus ou moins contrainte par le fait que les pratiques observées se démarquent plus ou moins des pratiques habituelles.

Chez l'enseignant A, on peut se demander dans quelle mesure les intentions sur l'enseignement de la modélisation modifient sa manière de travailler. Effectivement, il est question de modèles dans la séance, mais la notion de modèle est utilisée de manière très proche aux attendus du programme. Au-delà de l'intérêt indéniable que présente la séance du point du vue du réinvestissement par les élèves des leurs fraîches connaissances de la mécanique macroscopique pour construire le concept de force pressante, la manière de faire travailler les élèves en les guidant sur les techniques de la physique semble rester en définitive habituelle. En revanche, la place que prennent les tâches épistémologiques chez l'enseignant C et l'omniprésence à tous les niveaux d'analyse du concept de modèle et l'activité de modélisation chez l'enseignant B attestent de pratiques d'enseignement peu habituelles.

Nous avançons plusieurs hypothèses d'interprétation en lien avec le contexte d'enseignement pour interpréter ce contraste :

- l'enseignant A conçoit seul l'enseignement de la modélisation et le scénario de sa mise en œuvre. Si cet enseignement est fortement contraint par le contexte d'enseignement, et notamment la manière d'enseigner la physique en classe de seconde, il n'est pas surprenant que l'enseignant n'enseigne de la notion de modèle que ce qui est prescrit dans le programme[43] dans un souci de *conformité au rapport*

[43] Selon l'analyse du discours à propos du modèle, les occurrences les plus nombreuses sur le mot de « modèle » sont celles qui renvoient à ce savoir de la physique particulier qu'est « le modèle microscopique des gaz » et dont il est question dans le programme.

institutionnel. Un deuxième niveau d'interprétation pourrait être que lui même considère que le terme de modèle est associé a ce qui dans les programmes est qualifié comme tel (modèle du rayon lumineux, modèle de l'atome, modèle du gaz, modèle du pendule simple) : il s'agit alors d'une forme d'*identité au rapport institutionnel* conséquente de la pratique. Ces interprétations sont cohérentes avec le constat selon lequel le résultat de la modélisation de l'objet d'étude réalisé en mécanique en début de séance ne soit pas présenté par l'enseignant comme faisant partie des modèles.

- Si les pratiques ne sont pas modifiées et la nature des savoirs scientifiques non précisée en présence d'une intention particulière en matière d'épistémologie, nous pensons que cet enseignement ne relève pas d'une transposition didactique. Les savoirs épistémologiques à enseigner sont ceux qui caractérisent la nature et le fonctionnement des savoirs scientifiques dans la classe. Cette absence de transposition justifierait donc que les connaissances (logos) épistémologiques de l'enseignant se seraient construites à partir des pratiques, ce qui en limite la portée générale et la définition. L'entretien post-séance confirme cette hypothèse : l'enseignant A considère qu'enseigner la force comme appartenant à la fois au registre théorique de la mécanique et à celui du sensible est la manière la plus facilement compréhensible par les élèves ; c'est d'ailleurs comme cela qu'il comprend le concept de force lui-même. Ce constat que nous considérons comme le signe d'une confusion entre les institutions scolaires et de recherche, contraste fortement avec les deux autres séances marquées par des tâches proprement épistémologiques et par une plus grande cohérence entre les résultats d'analyse aux deux échelles.
- la grande cohérence des praxéologies obtenues aux deux échelles chez l'enseignant B nous conduit à penser que sa pratique d'enseignement relève davantage d'une transposition didactique des savoirs de l'épistémologie dans l'institution de la classe de physique du secondaire. Son appartenance à un groupe de recherche-formation a

été l'occasion pour lui de travailler à la fois sur l'épistémologie en tant que discipline, et sur sa transposition en classe de lycée. Mais l'idée de transposition didactique est associée chez Chevallard à celle de définition du texte du savoir, donc du choix à faire des savoirs à enseigner compte tenu des contraintes qui pèsent sur l'enseignement : en raison des différences entre l'activité scientifique de production de connaissances dans le domaine de la physique et l'activité de la physique en classe, le travail est de savoir ce qu'il est possible de faire qui soit de l'ordre de la transposition de l'activité scientifique en classe, que ce soit au niveau de la praxis que du logos. On a pu observer que ce qui est transposé dans la séance renvoie quasiment totalement au concept de modèle parce que cet enseignant s'appuie sur la notion de modèle pour « structurer » son enseignement des savoirs de la physique et favoriser leur apprentissage. L'enseignant assume ce choix de structuration par rapport aux pratiques habituelles d'enseignement, mais aussi le choix de n'enseigner des savoirs épistémologiques que ceux en relation avec le concept de modèle, voire avec ce qui du concept de modèle est transposé dans la classe. Il confirmera lors de l'entretien post-séance qu'il ne souhaite pas parler du concept d'hypothèse en raison du caractère polysémique de ce terme à la fois à l'intérieur d'une discipline, et d'une discipline d'enseignement à l'autre. De plus, à l'image de la compréhension des phénomènes physiques à l'aide de modèles, l'analyse épistémologique des processus d'élaboration des savoirs de la physique et de leur nature s'effectue à partir d'un modèle de l'épistémologie transposé : ceci constitue la technologie/théorie qui légitime la tâche épistémologique de la séance. Ces choix de l'enseignant pourraient être interprétés comme relevant d'un rapport de l'enseignant aux objets de savoirs de l'épistémologie qui présente un fort tropisme vers le rapport institutionnel du groupe de recherche-formation.

- une autre voie entre les sujets A et B est celle que l'on peut tirer de l'interprétation de la pratique de l'enseignant C. Le concept d'hypothèse occupe une grande place dans la séance. Mais nous avons vu que la tâche dans laquelle ce concept est impliqué achoppe et que le logos de l'enseignant à propos de ce concept est assez

mal défini. De plus, la séance observée est riche de tâches proprement épistémologiques, mais l'analyse épistémologique cadrée par un modèle épistémologique se veut rendre compte de l'activité « *rigoureuse* » de la physique (tdp 184) en prenant pour objet une modélisation déjà construite ou un processus de modélisation réalisé en classe. Cet enseignant « prend des libertés » vis à vis des pratiques habituelles, et affecte un poids important à l'analyse de l'activité scientifique. Cela est à mettre en relation avec son appartenance passée au même groupe de recherche-formation que le sujet B. Cependant, son objectif est d'une autre nature que celui de B : comprendre le fonctionnement de la modélisation en physique par une analyse de l'activité scientifique en classe. Ceci est légitimé par une technologie que l'enseignant a formulé lors de l'entretien post-analyse : il fait une similitude très Bachelardienne entre les conceptions des élèves qui constituent un obstacle à l'apprentissage de la physique et le concept d'obstacle épistémologique. Il s'agit d'un raccourci entre l'épistémologie comme réflexion critique sur la science et le processus d'analyse de l'activité scientifique en classe par lequel un élève construit des savoirs scientifiques. Plongés dans l'analogie entre l'activité scientifique en classe et ce qui se passe dans l'activité scientifique en dehors de la classe, cette forme de réductionnisme pourrait laisser penser aux élèves que l'activité scientifique aboutit à coup sûr à du savoir, et de plus à du savoir établi, donc à de la découverte alors que l'activité scientifique tient plutôt d'un processus de construction.

2 Apports et limites de cette recherche.

2.1 Au niveau méthodologique

Le peu d'importance accordée à l'enseignement de l'épistémologie dans le secondaire en France nous a conduit à nous contenter de petits échantillons de données : il était nécessaire de pouvoir caractériser les pratiques des enseignants et de comprendre ces pratiques à l'échelle d'une ou deux séances. Certes, la validité des résultats de cette étude reste limitée

sur de nombreux points :

- tout d'abord et de la manière la plus évidente, au niveau de la taille et de la diversité des échantillons : les résultats obtenus finiraient par être moins contrastés par la multiplication des séances, des objets de l'épistémologie à enseigner et de la durée des observations. Mais cela permettrait de les consolider.

Afin que les résultats aient davantage de poids, il serait préférable :

- de disposer d'échantillons identiques dans lesquels par exemple l'enseignement de la modélisation porte à la fois sur des aspects identiques de la modélisation, instanciée à des savoirs de la physique identiques.
- de pouvoir constituer des classes d'enseignants, selon qu'ils conçoivent seuls ces enseignements, ou qu'ils travaillent dans des groupes de formateurs, avec ou sans apport de la recherche.
- d'examiner la cohérence de la signification des concepts épistémologiques en jeu chez un même enseignant qui enseigne de l'épistémologie occasionnellement, selon qu'il s'agit d'une séance marquée d'une intention épistémologique ou non

Cependant, la méthodologie couplant l'étude des praxéologies disciplinaires relatives à l'épistémologie et l'étude des praxéologies didactiques de la physique, à une analyse microscopique à l'échelle des interactions nous a permis d'obtenir des résultats contrastés avec des enseignants contrastés.

Cette méthodologie de caractérisation des pratiques d'enseignement de l'épistémologie à l'échelle d'une séance nous permet de nous démarquer des méthodologies d'inspiration ethnographiques rencontrées jusqu'ici dans la littérature anglophone. Ces dernières ont certes pris pour objet l'évolution du système constitué de la trilogie des conceptions (sur la NOS, sur l'enseignement et sur l'apprentissage des sciences) (p.90), mais nécessitent des observations longitudinales sur des grandes durées et la collectes de nombreuses données. De plus, ces méthodologies sont utilisées jusqu'ici dans un contexte où les savoirs de l'épistémologie sont prescris dans les programmes.

De notre côté, nous avons recherché à examiner ces pratiques en usant le moins possible de données relatives au point de vue du sujet sur sa pratique. Cette option est certainement discutable au vu des méthodologie utilisées en didactique selon lesquelles les données issues du « pôle » enseignant intègrent cet aspect, mais elle trouve son origine dans les études qui fondent notre étude et selon lesquelles il n'y a pas nécessairement de relation entre les déclarations des enseignants à propos d'épistémologie et leurs pratiques. C'est aussi pour cette raison et aussi parce qu'il n'existe pas de rapport institutionnel en lycée aux savoirs épistémologiques que nous nous sommes limités à examiner la direction d'étude alors que l'étude des praxéologies passe également par l'examen de la conception de l'étude.

Cette approche méthodologique est aussi une manière de contourner les problèmes de séparation des composantes du système des conceptions imbriquées (conception de la NOS, conception de l'enseignement de la physique et conception de l'apprentissage de la physique). Nous n'avons pas eu pour ambition de parvenir à distinguer les différentes composantes, mais la méthodologie utilisée est moyen de distinguer ce qui relève du seul domaine de la NOS de ce qui se situe à l'intersection avec les autres domaines. L'étude des praxéologies didactiques de la physique et disciplinaires de l'épistémologie, nous ont permis d'identifier ce qui relève du seul rapport public aux objets de savoirs de la NOS et nous avons incidemment identifié des conceptions à l'intersection des différents champs : dans le cas de l'enseignant A au sujet du concept de force (intersection (NOS, enseignement des sciences et apprentissage des sciences)) et dans celui de l'enseignant C (intersection (NOS, apprentissage)) au sujet de ce que nous avons qualifié précédemment de réductionnisme épistémologique.

2.2 Par rapport aux recherches précédentes

Nos résultats issus d'une analyse empruntée au cadre théorique de la TAD, n'ont de sens que dans ce cadre. Cependant, ils tendent dans une certaine mesure à faire écho et à mieux comprendre le modèle dont nous avons fait état au chapitre 3 (p.91) issus d'un ensemble de

travaux essentiellement anglo-saxons (nous allons l'appeler « modèle de Water-Adams » pour davantage de clarté dans ce qui suit). Lorsque ce modèle fait état d'une relation duale entre les pratiques et le système des conceptions imbriquées (conceptions sur l'épistémologie, l'enseignement de la science et l'apprentissage de la science), nous pouvons le comprendre comme un mécanisme à la fois statique et dynamique : deux des trois sujets de notre étude n'y dérogent pas. L'enseignant A semble avoir effectivement construit des conceptions sur l'épistémologie via sa pratique d'enseignement, ce qui conduit à observer une pratique proche de la pratique habituelle et cela même en présence d'une intention particulière relative à l'épistémologie. De manière analogue, même si nous avons identifié une pratique du sujet B très différente de la première, elle n'est pas modifiée en tant que telle par la présence de l'intention didactique épistémologique, car repose elle aussi sur l'objectif central de l'apprentissage de la physique. Mais dans ce cas, c'est à partir de là que sont conçues les séquences d'enseignement, structurées sur des savoirs particuliers de l'épistémologie (modèle). Le modèle de Water-Adams peut être lu de la manière suivante : ce sont des questions de « mise en pratique » d'un enseignement de la physique qui conduisent à prendre appui sur des savoirs de l'épistémologie et à la recherche progressive d'une forme de « résonance » entre les différents domaines de conceptions, comme l'a remarqué Water-Adams (2006). Ce qui tient lieu de résonance dans le cas du sujet B se manifeste par le choix des savoirs épistémologiques à transposer, permettant à la fois de caractériser le savoir de la physique à apprendre (modèle de la loi de Mariotte = savoir de l'épistémologie), la manière dont il peut être construit dans la classe et la manière dont on s'en sert pour interpréter des phénomènes (enseignement et apprentissage). La pratique du troisième enseignant est en revanche pour l'instant difficile à interpréter via ce cadre.

Il reste que l'utilisation du concept de rapport aux objets de savoir en lieu et place de conception, amène avec lui le cortège conceptuel de transposition, d'institutions et de praxéologie, et permet de prendre en compte d'emblée le contexte de travail des enseignants.

2.3 La part subjective du chercheur

A l'issue des analyses, il nous semble conclure assez aisément que l'enseignant B est celui chez qui la pratique d'enseignement, comparativement aux autres, devrait donner lieu aux apprentissages visés par l'enseignement. Nous sommes parvenus à cette idée en raison de la plus grande cohérence des savoirs épistémologiques identifiés à tous les niveaux d'analyse. A la différence de l'enseignant A, ce type d'enseignement est mis en œuvre dès que le thème de physique s'y prête (la situation est un peu semblable pour l'enseignant C) et les aspects épistémologiques font l'objet d'une évaluation au même titre que les savoirs de la physique. Cette maîtrise didactique tient sans doute d'une grande expérience dans ce domaine, et ceci constitue un autre paramètre à prendre en compte. Cela dit, nous sommes aussi en quelque sorte marqués dans le champ de la didactique par le paradigme de la transposition, et l'analyse d'une séance conçue par un processus qui relève de la transposition nous conduit à penser qu'une grande cohérence entre les niveaux d'analyse des praxéologies révèle une pratique donnant vraisemblablement lieu aux apprentissages visés. Les connaissances de l'épistémologie, donc de la nature, du fonctionnement et de l'élaboration des savoirs scientifiques, modélisent une forme d'activité de production des connaissances scientifiques. Si l'on souhaite transmettre ces connaissances qu'elles qu'en soient les raisons, cela passe selon nous par des formes de savoir faire qui doivent être mise en œuvre, avoir une certaine réalité dans la classe. Autrement dit, comment enseigner la modélisation sans passer par des tâches de modélisation ? Comment transmettre aux élèves un savoir sur le concept de modèle ou modélisation, en leur faisant associer le mot « modèle » à une activité qui n'est pas lisible pour eux ? Cette transmission ne passerait ainsi dans ce cas que par la désignation du terme de modèle et de sa signification, se rapportant à une activité qui n'existe pas en classe ?

Nous avons donc un a priori favorable vis à vis de ce qui relève de la transposition, c'est à dire que toute intention didactique s'accompagne dans l'institution scolaire de la définition d'un texte du savoir. Autrement dit, notre modèle d'enseignement sous-jacent à nos analyses consiste à penser qu'enseigner l'épistémologie, c'est à la fois conduire les élèves à

identifier et à définir les concepts de l'épistémologie en jeu dans la séance à chaque fois que l'occasion se présente, que ce soit au niveau de la nature des savoirs de la physique qu'au niveau du fonctionnement de la physique, et de mettre en œuvre des tâches et des techniques associées qui sont de l'ordre de l'activité de la physique.

Toutefois, ce modèle d'enseignement peut faire l'objet d'une mise à l'épreuve dans le développement de la recherche à venir par l'étude du volet apprentissage correspondant à cet d'enseignement.

3 Perspective et développement

3.1 En terme de recherche

En continuité avec le point précédent, un premier volet de la recherche à venir pourrait emprunter une approche différente de celle que nous avons utilisée : il s'agirait à l'inverse de définir des savoirs de l'épistémologie à enseigner et leurs conditions d'enseignement à partir d'un processus d'exploration du rapport aux objets de savoir épistémologiques d'un enseignant et de ses pratiques. Cela pourrait contribuer à développer la formation dans ce domaine.

De toute manière, le développement de cette recherche, de manière à rendre compte de l'importance des trois pôles de la didactique, passera par l'étude de l'apprentissage en classe de ces savoirs épistémologiques ; nous ne pourrons plus nous satisfaire des résultats sur les conceptions des élèves issus d'études antérieures. On peut supposer que certaines modifications récentes dans les modalités d'enseignement de la physique, notamment par la démarche d'investigation introduite dès l'école élémentaire, peuvent avoir des effets sur les conceptions des élèves, ne serait ce qu'en raison de la modification des pratiques. Nous faisons toutefois l'hypothèse que l'ensemble des questions relatives à la NOS que la démarche d'investigation de résout pas ne permet pas de s'attendre à de grands bouleversements en la matière (Pélissier & Venturini, 2012).

Nos analyses nous ont permis d'accéder à la composante publique du rapport de l'enseignant aux objets de savoirs épistémologiques, en cohérence avec les travaux antérieurs qui font état des conceptions des enseignants mobilisées dans l'action didactique. Cela dit, nous ne somme pas allés jusqu'au bout de ce que peut apporter l'utilisation de ce cadre théorique. Alors que le terme de « conception » renvoie à toutes les dimensions de ce que connaît un enseignant, il intègre en quelque sorte les dimensions publiques et privées du rapport aux objets de savoir. Nous nous sommes limités dans notre étude à la composante publique de ce rapport ; il reste à examiner comment se tissent les liens entre la composante privée et les conceptions sur l'enseignement et l'apprentissage. Cependant, pour aller identifier ce qui relève de la composante privée, il faut que les enseignants le mettent en œuvre dans d'autres institutions ou alors qu'ils soient en position de conduire une analyse réflexive sur leurs propres conceptions et sur leurs propres pratiques. Ce type de recherche est celle qu'à conduite Water-Adams (2006), avec pour conséquence de conduire les enseignants à essayer de mettre leurs conceptions en phase avec leurs pratiques, dans une recherche de « résonance ». Mais ce processus est facilité par la présence dans les programmes des concepts clés de la NOS.

3.2 En terme de formation des enseignants

En attendant que des savoirs de l'épistémologie fassent l'objet d'une prescription, nous pouvons dessiner quelques pistes en matière de formation des enseignants de sciences physiques, voire plus largement de sciences expérimentales.

Tout d'abord, bien sûr, comme nous l'avons vu chez les enseignants B et C, l'épistémologie peut être enseignée, au moyen d'une activité épistémologique proprement dite, c'est à dire par l'analyse critique de démarches d'élaboration de connaissances scientifiques. Ces analyses peuvent prendre appui sur l'histoire des sciences, mais aussi sur les activités de la physique conduites en classe, mais en prenant soin de distinguer ce qui relève d'une épistémologie construite sur la base d'un phénomène didactique relatif à un savoir de la physique, de ce qui relève de l'épistémologie de l'activité scientifique.

Mais nous pensons davantage que l'enseignement de l'épistémologie ne pourra se développer (pour l'instant) qu'à la condition où les savoirs en jeu peuvent servir comme dans le sujet B à l'apprentissage de la physique ; autrement dit, l'épistémologie doit être considérée comme un vecteur, un support de l'apprentissage des savoirs de la physique.

Nos pouvons dans cette perspective envisager d'utiliser la méthodologie mise en œuvre dans cette étude comme instrument de formation initiale et continue : pouvoir analyser et comprendre des pratiques à l'échelle d'une séance peut faciliter la mise en œuvre progressive et réflexive de l'enseignement de l'épistémologie auprès d'enseignants en exercice ou d'étudiants encore peu enclins à franchir le pas.

Comme l'ont montre les nombreux travaux conduits notamment par Abd-El-Khalick & Lederman (2000), on a trop tendance à penser que tout doit venir de la maturation des connaissances des enseignants relativement à l'épistémologie, alors que les actions de formation doivent permettre de comprendre avec les outils de la didactique tels que ceux que nous avons utilisés quelles sont les formes différentes de pratiques d'enseignement de la physique, et quelles sont les types de savoir épistémologiques pertinents à mettre en œuvre dans ce contexte. Reprenant sans doute grossièrement le concept de zone proximale de développement de Vygostki[44], notre idée est d'orienter le travail de formation non pas uniquement en fonction du passé, en tenant compte des fonctions arrivées à maturité (connaissances de l'épistémologie et savoir enseigner de cette discipline), mais aussi et davantage en fonction de l'avenir, en déclenchant le développement proche par des apprentissages peu éloignés des pratiques habituelles. A l'adage

> *« Ce que l'enfant est en mesure de faire aujourd'hui en collaboration, il saura le faire tout seul demain »,*

[44] Lev Vygotski, *Pensée et Langage* La dispute, 1997, p.355

on pourrait par analogie dire « Ce que l'enseignant est en mesure de faire aujourd'hui en collaboration, il saura le faire tout seul demain » Ainsi, la formation a bien un intérêt, qui est de ne pas attendre que tout vienne d'une transposition noosphérique, mais de la construction d'un modèle normatif des pratiques d'enseignement, pour y identifier l'épistémologie intrinsèque : investir l'étude des praxéologies pour en tirer un texte du savoir à enseigner, tout en travaillant avec les acteurs sur les écarts avec les formes de l'activité scientifique hors de l'institution scolaire et les épistémologies qui les caractérisent.

Le type de recherche mentionnée précédemment à propos de la définition des savoirs épistémologiques à partir d'une exploration du rapport aux objets de savoir de l'enseignant est un moyen de définir le texte du savoir épistémologique à enseigner à partir d'une connaissance précise des conditions de son enseignement. Autrement dit, nous situant donc dans une dimension transpositive, nous devons définir très localement, à l'image de ce qui a été réalisé par le groupe SESAMES, les savoirs de l'épistémologie à enseigner à partir de la connaissance précise de ce qui se fait en matière d'enseignement de la physique en classe, pour identifier ce qui dans ces pratiques peut accompagner, soutenir, porter des savoir et des savoir faire de l'épistémologie. Une compréhension fine des pratiques d'enseignement de la physique sur le plan épistémologique peut ainsi ouvrir des perspectives sur les conditions de réalisation d'un tel enseignement dans un contexte aussi peu favorable.

Ces perspectives soulignent d'ailleurs à la suite d'autres qui les précèdent l'intérêt des relations des enseignants avec la recherche, ce qui ne manque pas de s'interroger à la fois sur la possibilité de multiplier ces dispositifs et sur le peu de cas que l'institution "enseignement secondaire de la physique" fait de la recherche. Pourtant…

> *« Au sein du système de santé, c'est aujourd'hui et depuis longtemps de la recherche médicale que l'on attend les avancées fondamentales : nul n'aurait songé, il y a trente ans, à réunir des médecins généralistes pour « réfléchir ensemble et ouvrir des pistes » sur la gravissime question du SIDA, en prétendant court-circuiter la recherche médicale. Or c'est ce paradigme-là qui règne encore en matière d'enseignement : pour leur malheur, les praticiens y sont réputés autosuffisants, hors de tout lien organique avec la recherche sur l'enseignement. Quant aux responsables de l'enseignement des*

mathématiques, ce sont sauf exception des non-chercheurs en matière d'enseignement, fréquemment insoucieux des avancées de la recherche, quand ils ne lui sont pas hostiles, et qui contribuent ainsi à bloquer le système d'enseignement dans un mode d'être périmé. (…) Contre la vision qu'inspire une pesante idéologie populiste, lorsqu'un médecin se rend auprès d'un patient, ce n'est pas tant le médecin que la médecine, la science médicale, avec ses conquêtes les plus récentes et ses manques douloureux mais qu'on espère provisoires, qui opère par le truchement du médecin. Le médecin est impuissant tant que la science médicale est impuissante : le premier est, pour le meilleur et pour le pire, au diapason de la seconde. Rien de tel n'est vrai aujourd'hui en fait d'enseignement, où la science didactique reste méconnue et paraît même indésirable, les enseignants étant censés tirer de nulle part les outils d'une action dont le passif comme l'actif sont mis presque entièrement à leur compte propre. »

Extrait du texte rédigé par Y. Chevallard à l'occasion de l'attribution du prix Hans Freudhental 2009

http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/IMG/pdf/YC_-_Prix_Hans_Freudenthal_2009.pdf

BIBLIOGRAPHIE

Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science : a critical review of the litterature. *International Journal of Science Education, 22(7),* 665-701.

Abd-El-Khalick, F. (2005) Developing deeper understandings of nature of science: the impact of a philosophy of science course on preservice science teachers' views and instructional planning, International Journal of Science Education, 27(1), 15-42.

American Association for the Advancement of Science. (1989). *Project 2061: Science for all Americans*. New York: Oxford University Press.

American Association for the Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for science literacy* : *a Project 2061 report*. New York : Oxford University Press.

Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B. (1997). Stratégies de travail des obstacles : Dispositifs et ressorts. *Aster, 25*, 193-216.

Bachelard, G. (1938) La formation de l'esprit scientifique. Paris : Vrin.

Bachelard S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles, in Delattre P. et Thellier M. (eds.), *Elaboration et justification des modèles*. Maloine éditeur.

Belhoste B., Gispert, H. & Hulin, N. (Eds) (1996). Les Sciences au lycée. Un siècle de réformes des mathématiques et de la physique en France et à l'étranger, Paris : INRP & Vuibert.

Bell, R.L. (2004). Perusing Pandora's Box : Exploring the what, when, and how of nature of science instruction. In L. Flick & N. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education* (427-446). The Netherlands : Kluwer Academic Publishers.

Berthou-Gueydan, G. & Favre D. (1995). Les attitudes cognitives de la démarche scientifique sont-elles compatibles avec les représentations majoritaires actuelles de la science ? in Giordan, A. & al. (dir.), Que savons-nous des savoirs scientifiques et techniques ? (pp. 317-321). Chamonix.

Bloor, D. (1983). *Sociologie de la logique. Les limites de l'épistémologie*. Pandore (première édition anglaise : Knowledge and Social Imagery, 1976).

Bomchil S. et Darley B. (1998). L'enseignement des sciences expérimentales est-il vraiment inductiviste ? *Aster, 26*, 85-108.

Brière-Guenoun, F. et Verscheure, I. (2010). De l'observation des pratiques d'enseignement à l'analyse des savoirs professionnels : études de cas en éducation physique et sportive. *Congrès international AREF, Actualités de la recherche en éducation et formation*, 13-16 septembre, Genève.

Bronner, A. (2003). Rapports des enseignants de mathématiques aux objets de savoir « racine carrée » et « nombre réel » : une étude dans le cadre de l'approche anthropologique. Prolongement codisciplinaire in Maury, S. & Caillot, M. (Eds.), *Rapport au savoir et didactiques*. Paris : Faber.

Brickhouse, N.W. (1990). Teacher's beliefs about the nature of science and their relationship to classroom practice. *Journal of Teacher Education*, *6(3),* 53-62.

Bunge, M. (2001). La science, sa méthode et sa philosophie. Paris : Vigdor.

Chalmers, A. F. (2006). Qu'est-ce que la science? Popper, Kuhn, Lakatos, Feyerabend. Paris : La Découverte. (Première édition anglaise : What Is This Thing Called Science ? 1976)

Chevallard, Y. & Joshua, M. A. (1991) *La transposition didactique ; Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée Sauvage.

Chevallard, Y. (1989). Le concept de rapport au savoir : rapport personnel, rapport institutionnel, rapport officiel. *Cahiers du Séminaire de didactique des mathématiques et de l'informatique*, IMAG, Université de Grenoble, *108*, 211-236.

Chevallard, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en didactique des mathématiques*, *12 (1)*, 73-111. Grenoble : Pensée sauvage.

Chevallard, Y. (1997). Familière et problématique, la figure du professeur. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 17(3), 17-54. Grenoble : la Pensée Sauvage.

Chevallard, Y. (1999) « L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique », *Recherches en didactique des mathématiques,* vol. 19, 2, pp. 221-265, la Pensée Sauvage, Grenoble.

Chevallard, Y. (2002) Cours donné à la *XIe école d'été de didactique des mathématiques* (Corps, 21-30 août 2001). Paru dans les actes correspondants, La Pensée Sauvage,

Grenoble, p. 3-32.

Chevallard, Y. (2003). Approche anthropologique du rapport au savoir et didactique des mathématiques. Communication aux *3es Journées d'étude franco-québécoises* (Université René-Descartes Paris 5, 17-18 juin 2002). Paru dans S. Maury S. & M. Caillot (éds), *Rapport au savoir et didactiques*. Paris : Faber, p. 81-104.

Chevallard, Y. (2010) « *L'enseignement des mathématiques à un carrefour ?* » Texte rédigé à l'occasion de l'attribution du prix Hans Freudhental 2009, publié par le site de l'Institut Français de l'Education (IFE), http://educmath.inrp.fr/Educmath/la-parole-a/yves-chevallard

Coince, D., Miguet, A.-M., Perrey, S., Rondepierre, T., Tiberghien, A. ,Vince, J. (2008) Une introduction à la nature et au fonctionnement de la physique pour des élèves de seconde, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 900, pp. 3-20.

Comte, A. (1975) Philosophie première, cours de Philosophie positive, leçon 1 à 45, Hermann, Paris (1ère édition : 1830)

Désautels, J. et Larochelle, M. (1989) Qu'est-ce que le savoir scientifique ? Points de vue d'adolescents et d'adolescentes, Presses de l'Université Laval, Québec.

Duhem, P. (1906) *La Théorie physique. Son objet, sa structure*. Paris : Vrin, éd. 2007.

Duschl, R. & Wright, E. (1989) A case study of high school teachers' decision making models for planning and teaching science, *Journal of Research in Science Teaching 26(6) , 467 – 501.*

Europe & Science for All, 2006.

Feyerabend, P. (1979) *Contre la méthode, Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance*, Paris, Éd. Seuil, coll. "Points sciences"(1988).

Fourez, G. (1996) *La construction des sciences* , De Boeck Université, 3ème éd.

Garnier, A., & Amade-Escot, C. (2003). L'enseignement de la gymnastique au collège : tensions et injonctions contradictoires à l'origine du rapport au savoir de l'enseignant. *eJRIEPS,* Site http://www.fcomte.iufm.fr, 4, 23- 37.

Gil-Perez, D. (1993) Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique. Aster, 17 (Modèles pédagogiques 2), pp. 41-64.

Gispert, H., Hulin, N., & Robic, M.-C. (Eds) (2007) Science et enseignement ; l'exemple de la grande réforme des programmes du lycée au début du XXème siècle. INRP & Vuibert, Paris.

Guilbert, L. et Meloche, D. (1993) L'idée de science chez des enseignants en formation : un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions ?, Didaskalia, 2, 7-30.

Glasson, G. E. & Bentley, M. L. (2000) Epistemological undercurrents in scientists' reporting of research to teachers, *Science Education, 84(4),* 469-485.

Gwimby, E. & Monk, M. (2003). A study of the association of attitudes to the philosophy of science with classroom contexts, academic qualification and professional training, amongst A level biology teachers in Harare, Zimbabwe. *International Journal of Science Education, 25(4)*, 469-488.

Halbwachs, F. (1969) « *La pensée physique chez l'enfant et le savant* », Delachaux et Niestlé. 1974.

Hempel, C. (1972) « *Eléments d'épistémologie* », Armand Colin, U2, trad. de (1966) « Philosophy of natural science », Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Hipkins R., Barker M., Bolstad R. (2005) "Teaching the nature of science : modest adaptations or radical reconceptions ?", International Journal of Science Education, 27(2), 243-254.

Hulin, M. (1992) *Le mirage et la nécessité : pour une redéfinition de la formation scientifique de base*. Presses de l'Ecole Normale Supérieure & Palais de la Découverte. Paris

Joshua, S. & Dupin, J.-J. (2003) *Introduction à la didactique des mathématiques et des sciences*, PUF, Quadrige (1ère édition : PUF, 1993).

Kaminski, W. (1989). Conceptions des enfants (et des autres) sur la lumière, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°716, 973-996.

Kaminski, W. (1993). Rayons épinglés ou comment tracer les rayons lumineux en quatrième, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°750, 29-35.

Koyré, A. (1966) *Études d'histoire de la pensée scientifique*, Paris, Gallimard, 3e éd. : 1985.

Kuhn, T.S. (1983) *La structure des révolutions scientifiques*, Flammarion, Paris (première édition anglaise :*The Structure of Scientific Revolutions*, Univ. of Chicago Press, Chicago, 1962).

Lakatos, I. (1984) Preuves et Réfutations : essai sur la logique de la découverte mathématique, Hermann, Paris (première édition anglaise : Proofs and refutations, the logic of mathematical discovery, Cambridge University Press, 1976).

Lakin, S. & Wellington J. (1994) "Who will teach the « nature of science » ? : teachers' views of science and their implication for science education", International Journal of Science Education, 16(2), 175-190.

Laplante, B. (1997) Teachers' beliefs and instructional strategies in science: Pushing analysis further, *Science Education, 81(3)*, 277-294.

Lecourt, D. (dir.) (1999) *Dictionnaire d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, PUF, Paris.

Lederman, N. G. (1992) "Students' and teachers' conceptions of the nature of science : a review of the research. Journal of Research of Science Teaching", 29(4), 331-359.

Lederman, N. G. (1999) "Teachers' understanding of the nature of science and classroom practice : factors that facilitate or impede the relationship", *Journal of Research of Science Teaching, 36(8)*, 916-929.

Lederman, N. (2005) "Syntax of Nature of science within inquiry and science instruction", in Flick, L. & Lederman, N. (eds.) Scientific Inquiry and Nature of Science, 301-317, Kluwer Academic Publishers.

Le Moigne, J. L. (1987) *Les modèles expérimentaux et la clinique*, Confrontations Psychiatriques, n°Spécial « Modèles ». Doc. access. via le lien : http://mcxapc.accedo.pro/fileadmin/docs/lemoign2.pdf

Lyons, N. (1990). Dilemmas of knowing: ethical and epistemological dimensions of teachers' work and development. *Harvard Educational Review, 6,* 159–180.

Martinand, J.-L. (Coord.) (1992). Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences. Paris : INRP.

Matthews, M. R. (ed.) (1998) Constructivism in science education, a philosophical examination, Kluwer Academic Publishers.

Méheut, M., (2006) "Recherche en didactique et formation des enseignants de science", in *L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe : état des lieux des politiques et de la recherche*, Rapport du réseau Eurydice pour la Commission Européenne.

Morin, E. (2000) Les Sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur, Seuil, Paris.

Morin, L. & Brunet, L. (2000) *Philosophie de l'Education*, Presses de l'Université Laval

Munby, H. 1976. Some implications of language in science education. *Science Education, 71(5)*, 721-734.

Nadeau, R. (1984) "L'épistémologie comme idéologie" in C. Savary et C. Panaccio (Eds), *L'idéologie et les stratégies de la raison. Approches théoriques, épistémologiques et anthropologiques*, pp. 119-147, Hurtubise, Montréal

National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC:

National Academic Press.

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, Falmer, London.

Osborne, J. F. (1996). *Beyond Constructivism*. Science Education, 80(1), 53-82.

Pélissier, L. & Venturini, P. (2005) L’élaboration du savoir en physique : Relations entre rapport à l’objet de savoir et pratiques déclarées chez des professeurs stagiaires, Mémoire de DEA, Université Paul Sabatier Toulouse 3.

Pélissier, L. & Venturini, P. (2012) Qu’attendre de la démarche d’investigation en matière de savoirs de l’épistémologie à la lumière d’une revue de question sur leur transmission dans l’enseignement ? in B. Calmettes (ed.), *Didactique des sciences et démarche d’investigation, Références, représentations, pratiques et formation,* L’Harmattan, Paris.

Popper, K. (1985) Conjectures et réfutations, la croissance du savoir scientifique, Payot, Paris.

Picq, P. (2007) *Lucy et l'obscurantisme*. Odile Jacob ,Paris.

Porlan Ariza, P., & al. (1998). Les obstacles à la formation professionnelle des professeurs en rapport avec leurs idées sur la science, l’enseignement et l’apprentissage. *Aster, 26*.

Robardet, G. (1994). *La formation des enseignants de sciences physiques et le mythe naturaliste*. Actes du IVème séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques, Amiens.

Robardet, G. & Guillaud, J.-C. (1997) *Eléments de didactique des sciences physiques*. PUF, Paris.

Richoux, H. & Beaufils, D. (2005) “Conception de travaux pratiques par les enseignants : analyse de quelques exemples de physique en termes de transposition didactique“, *Didaskalia*, *27*, 11-39.

Roletto E., Cros D. et Lefranc B., « La nature de la science : conceptions d’enseignants et de futurs enseignants », in *Que savons-nous des savoirs scientifiques et techniques?,* actes des XVIIe journées de Chamonix, 27-31 mars 1995, p. 41. 3.

Roletto, E. (1995) La nature du savoir scientifique. Points de vues d’enseignants et de futurs enseignants, Thèse de 3ème cycle, Université Montpellier II

Roletto, E. (1998) “La science et les connaissances scientifiques”*, Aster, 26,* 11-30.

Soler, L. (2000) Introduction à l'épistémologie. Ellipses, Paris.

Ryder, J., Leach, J. (1998). Enseigner les pratiques effectives de la science : expériences d'étudiants en projets de recherche de licence. *Didaskalia, 12*, 39-62.

Ryder, J. & Leach, J. (2008) "Teaching About the Epistemology of Science in Upper Secondary Schools : An Analysis of Teachers' Classroom Talk", *Science & Education*, 17, 2-3, pp. 289-315, Springer Netherlands.

Schubauer-Leoni, M.-L. & Ntamakiliro, L. (1994). La construction de réponses à des problèmes impossibles. *Revue des Sciences de l'Education*, vol. 20, n°1, pp. 87-113.

Sesames (2004) « Réflexions et propositions du groupe SESAMES pour l'allègement des programmes de physique », Bulletin de l'Union des Physiciens, 98 (864), 771-778.

Sesames (2009) présentation du groupe et de ses travaux sur le site internet de l'Académie de Lyon : http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/phychi2/spip.php?article62

Soler (2000) *Introduction à l'épistémologie*. Ellipses. Paris.

Tiberghien, A. (1994) Modeling as a basis for analyzing teaching - learning situations. *Learning and Instruction* **4 ,** p.71-87.

Tiberghien, A. & Vince, J. (2005) « Étude de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique », *Cahiers du Français Contemporain* 10, 153-176. HALSHS-00376702

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 : Eléments de théorisation de l'action conjointe du professeur et des élèves* (pp. 93-122). Rennes: PUR.

Tobin, K., & McRobbie, C. J. (1997) Beliefs about the nature of science and the enacted curriculum. *Science and Education, 6(4),* 335-371.

Toulmin, S. (1958) *The Uses of Argument*. Cambridge University Press, Cambridge.

Toulmin, S. (1973) L'explication scientifique. Armand Colin, Paris.

Tsai, C-C. (2002) Nested epistemologies : Science teachers' beliefs of teaching, learning and science" *International Journal of Science Education, 24(8)*, 771-783.

Ullmo, J. (1969) " *La pensée scientifique moderne* ", Flammarion, Champs, Paris.

Van Driel, J. H., Verloop, N., De Vos, W. (1998) Developing science teachers' pedagogical content knowledge, *Journal of Research in Science Teaching, 35(6)*, 673-695.

Venturini, P., & Albe, V. (2002) Interprétation des similitudes et différences dans la maîtrise conceptuelle d'étudiants en électromagnétisme à partir de leur(s) rapport(s) au(x) savoir(s). *Aster*, 35, 165-188

Venturini, P., & Albe, V. (2002) Rapports à la physique d'étudiants issus d'un DEUG Sciences de la matière in A. Terrisse (dir.) *Didactique des disciplines scientifiques et technologiques, Concepts et méthodes*, Les dossiers des sciences de l'éducation, n°8, p. 11-22. PUM

Venturini P. (2005) Rapports idéal-typiques à la physique d'élèves de l'enseignement secondaire. *Didaskalia,* 26, 9-32

Venturini, P., Calmettes, B., Amade-Escot, C., & Terrisse, A. (2007). Analyse didactique des pratiques d'enseignement de la physique d'une professeure expérimentée. *Aster, 45, 211-234.*

Vérin, A. (1998) Enseigner de façon constructiviste, est-ce faisable ?, *Aster*, 26, 133-163.

Viennot, L. et al. (1996) Une tendance du raisonnement : matérialiser les objets de la physique, exemple en optique élémentaire, in *Raisonner en Physique, la part du sens commun*, Paris, Bruxelles, Deboeck Université, coll. Pratiques pédagogiques

Walliser, B. (1977) « *Systèmes et modèles* », Paris, Seuil.

Waters-Adams, S., with Nias, J. (2003). Using action research as a methodological tool: Understanding teachers' understanding of science. *Educational Action Research, 11(2),* 283–300.

Waters-Adams, S. (2006) The Relationship between Understanding of the Nature of Science ans Practice : The influence of teachers' beliefs about education, teaching and learning, *International Journal of Science Education, 28(8)*, 919-944.

Zeidler, D. L., Lederman, N. G. (1989) "The effects of teachers' language on students' conceptions of the nature of science", *Journal of Research of Science Teaching, 26(9)*, 771-783.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES 7

INTRODUCTION 15

PARTIE 1 : OBJET ET CADRE DE L'ETUDE 21

CHAPITRE 1 : EPISTEMOLOG(IE(S))(Y) ? : DOMAINES DE DEFINITION 23

1 EPISTEMOLOGY 23
2 EPISTEMOLOGIE DES SCIENCES 24
2.1 APPROCHE INTERNALISTE 27
2.2 APPROCHE EXTERNALISTE 28
3 NATURE OF SCIENCE 29
4 QUELQUES JALONS DE L'EVOLUTION DE LA PENSEE EN EPISTEMOLOGIE 33
4.1 LE RATIONALISME 35
4.2 L'EMPIRISME 36
4.3 L'INDUCTIVISME SOPHISTIQUE 38
4.4 LE POSITIVISME 40
4.5 LE NEOPOSITIVISME 43
4.6 LE REALISME 44

CHAPITRE 2 : L'EPISTEMOLOGIE DANS LES PROGRAMMES DE SCIENCES 45

1 LE CAS DES ÉTATS-UNIS 45
2 LES PRESCRIPTIONS ACTUELLES DANS LES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES EN FRANCE 51
2.1 MODELE ET ACTIVITE DE MODELISATION 53
2.2 EXPERIMENTATION 54
2.3 DE L'ARTICULATION ENTRE MODELISATION ET EXPERIMENTATION 54
2.4 DU CARACTERE SPECULATIF ET EVOLUTIF DES CONNAISSANCES 55
3 EPISTEMOLOGIE ET METHODES D'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES 57
4 L'EPISTEMOLOGIE COMME VECTEUR DE LA CULTURE SCIENTIFIQUE 59

5 POINTS DE VUE DES ELEVES SUR LA NATURE DE LA SCIENCE 62

CHAPITRE 3 : LA TRANSMISSION DES SAVOIRS DE L'EPISTEMOLOGIE 69

1 TRANSMISSION IMPLICITE 70

1.1 À TRAVERS L'IMPLICATION DES ETUDIANTS DANS DES ACTIVITES DE RECHERCHE EN LABORATOIRE 70

1.2 A TRAVERS LES ACTIVITES MENEES EN CLASSE. 71

1.3 A TRAVERS LE DISCOURS ORDINAIRE DE L'ENSEIGNANT 73

2 TRANSMISSION EXPLICITE 74

3 POINTS DE VUE DES ENSEIGNANTS SUR LA NATURE DE LA SCIENCE 77

4 CONCEPTIONS DES ENSEIGNANTS SUR LA NATURE DE LA SCIENCE ET PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES 82

5 RELATIONS ENTRE LES CONCEPTIONS DES ENSEIGNANTS SUR LA NATURE DE LA SCIENCE ET SUR SON ENSEIGNEMENT. 86

6 VERS UNE RELATION DUALE ENTRE PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES ET CONCEPTIONS DE LA NOS 91

CHAPITRE 4 : PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT ET « RAPPORT AUX OBJETS DE SAVOIR » DANS LA THEORIE ANTHROPOLOGIQUE DU DIDACTIQUE 95

1 LE SAVOIR COMME OBJET 95

2 RAPPORT PERSONNEL A UN OBJET 96

3 RAPPORT INSTITUTIONNEL 97

4 COMPOSANTES PUBLIQUES ET PRIVEES DU RAPPORT AU SAVOIR 98

5 L'ANALYSE DES PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT VIA L'ETUDE DES PRAXEOLOGIES 100

5.1 LES PRAXEOLOGIES DISCIPLINAIRES 101

5.1.1 La praxis (tâche-technique) 101

5.1.2 Le logos (technologie-théorie) 102

5.2 LES PRAXEOLOGIES DIDACTIQUES 104

PARTIE 2 : CONCEPTION DE L'ETUDE 107

CHAPITRE 5 : PROBLEMATIQUE, HYPOTHESES ET QUESTIONS DE RECHERCHE 109

1 L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES PHYSIQUES CONTRIBUE AU MOINS POUR PARTIE AUX CONCEPTIONS DES ELEVES SUR LA NATURE DE LA SCIENCE 110

2 L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES PHYSIQUES EN FRANCE DANS LE SECONDAIRE DOIT PERMETTRE AUX

ELEVES DE COMPRENDRE CE QU'EST LA SCIENCE **111**
2.1 DES SAVOIRS DE REFERENCE ET DES SAVOIRS A ENSEIGNER PEU PRECIS 111
2.2 DEUX MODALITES POSSIBLES DE TRANSMISSION DE L'EPISTEMOLOGIE EN CLASSE 113
2.2.1 L'épistémologie pourrait être implicite à l'enseignement de la physique. 113
2.2.2 L'épistémologie pourrait faire l'objet d'une intention didactique 114
2.2.3 L'intention didactique relative à l'épistémologie pourrait être instanciée dans les savoirs de la physique à enseigner 115
3 HYPOTHESES ET QUESTION DE RECHERCHE **117**
3.1 LES SAVOIRS DE L'EPISTEMOLOGIE ENSEIGNES CONSTITUENT LA COMPOSANTE PUBLIQUE DU RAPPORT DE L'ENSEIGNANT A CES OBJETS 117
3.2 LES PRAXEOLOGIES DISCIPLINAIRES DE L'EPISTEMOLOGIE EN LIEN AVEC LES PRAXEOLOGIES DIDACTIQUES DE LA PHYSIQUE. 118

CHAPITRE 6 : POINTS DE REPERES EN EPISTEMOLOGIE CONTEMPORAINE DE LA PHYSIQUE **123**

1 LA PHYSIQUE COMME PARADIGME EPISTEMOLOGIQUE DES SCIENCES EMPIRIQUES **123**
2 À PROPOS DES THEORIES **126**
2.1 LES THEORIES COMME STRUCTURES. 129
2.2 LES THEORIES COMME VERITE SUR LE MONDE. 131
2.3 RAPPORT D'UNE THEORIE A SON OBJET 132
2.4 FONCTIONNEMENT D'UNE THEORIE DANS LA SCIENCE NORMALE 132
3 A PROPOS DES LOIS **135**
3.1 DEFINITION D'UNE LOI SCIENTIFIQUE 137
3.2 LE RAPPORT D'UNE LOI AUX FAITS 139
3.3 FONCTIONNEMENT DES LOIS DANS L'EXPLICATION SCIENTIFIQUE 140
4 DE L'OBSERVATION ET DE L'EXPERIMENTATION **141**
5 DES HYPOTHESES **145**
6 A PROPOS DES MODELES ET DE LA MODELISATION **147**
6.1 NATURE, CARACTERISTIQUES, TYPES ET FONCTIONS DU MODELE 148
6.2 LE MODELE APPARTIENT AU MONDE (DE LA) PHYSIQUE 149
6.3 LE MODELE EST « MODELE D'UNE SITUATION PHYSIQUE » 150
6.4 LE MODELE EST FIGURATIF OU ABSTRAIT, ET SERT A MONTRER 150
6.5 LE MODELE SERT A EXPLIQUER OU INTERPRETER 153

6.6 LE MODELE SERT A PREDIRE 154
6.7 LE MODELE VERIFIE LE PRINCIPE DU TIERS EXCLUS 154
6.8 MODELE ARCHETYPIQUE ET COHERENCE EXTERNE 155
6.9 L'ACTIVITE DE MODELISATION EN PHYSIQUE 156
6.9.1 Simplification du réel et enrichissement théorique 156
6.9.2 Limite de validité et évolution des modèles 158
6.9.3 Recherche d'analogies 159
7 THEORIE ET MODELE 160
7.1 DIFFERENCES ET SIMILITUDES 160
7.2 FONCTIONNEMENT DU MODELE DANS LA THEORIE 161
7.2.1 Fonctionnement à l'intérieur de la théorie 161
7.2.2 Fonctionnement en rapport à la situation réelle 162
8 MODELES D'ELABORATION DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES 163

CHAPITRE 7 : METHODOLOGIE DE RECUEIL ET D'ANALYSE DES DONNEES 167

1 CHOIX DU NIVEAU D'ENSEIGNEMENT 167
2 CHOIX DES 3 ENSEIGNANTS DE L'ETUDE 168
2.1 L'ENSEIGNANT A. 169
2.2 LES ENSEIGNANTS B ET C 172
3 LE RECUEIL DES DONNEES 174
3.1 LES OBSERVATIONS DE SEANCE 174
3.1.1 Contenus et durées des séances 174
3.1.2 Dispositif technique 174
3.2 LES ENTRETIENS 175
3.2.1 L'entretien ante-séance 175
3.2.2 Les entretiens post-séance 177
3.2.3 Les entretiens post-analyse 177
4 LE TRAITEMENT DES DONNEES 178
4.1 L'ANALYSE A PRIORI DE LA SEANCE 178
4.2 SYNOPSIS DE SEANCE A L'ECHELLE MESOSCOPIQUE : LE DECOUPAGE DE LA SEANCE EN TACHES. 178
4.3 L'ANALYSE DES TACHE A L'ECHELLE MICROSCOPIQUE 181
4.4 LA PRISE EN COMPTE DES ANOMALIES 183
4.5 LES CARACTERISTIQUES DU SAVOIR EPISTEMOLOGIQUE ENSEIGNE 183

4.5.1 Les niveaux d'explicitation des concepts 183
4.5.2 La grille d'analyse des savoirs épistémologiques 185

PARTIE 3 : RESULTATS 191

PRESENTATION DES RESULTATS 193

1 L'ANALYSE A PRIORI DU THEME FAISANT L'OBJET DE LA SEANCE OBSERVEE : 193
2 L'ANALYSE DES PRATIQUES : 193
2.1 NARRATION CHRONOLOGIQUE 193
2.2 L'ETUDE DES PRAXEOLOGIES 193
2.2.1 Niveau des types de tâches en lien avec les savoirs épistémologiques en jeu dans la séance. 194
2.2.2 Niveau du discours de l'enseignant et des interactions avec les élèves 194
2.2.3 Le rapprochement des deux échelles d'analyses 195

ANALYSE A PRIORI DU THEME COMMUN AUX ENSEIGNANTS A ET B 197

2.3 LE PROGRAMME 197
2.4 LES SAVOIRS DE L'EPISTEMOLOGIE A ENSEIGNER 198

ENSEIGNANT A 203

2.5 LES INTENTIONS DE L'ENSEIGNANT 204
3 ANALYSE DE LA SEANCE 205
3.1 NARRATION CHRONOLOGIQUE 205
3.2 ANALYSE EN TACHES/TECHNIQUES 207
3.2.1 Tableau synoptique 208
3.2.2 Détail de l'analyse 211
3.3 ANALYSE DU DISCOURS 223
3.3.1 Concepts épistémologiques attendus : modèle et modélisation 223
3.3.2 En relation avec d'autres concepts épistémologiques 225
3.3.3 Synthèse - Comparaison des deux niveaux d'analyse 230

ENSEIGNANT B 233

1 ANALYSE A PRIORI 233
1.1 LES INTENTIONS DE L'ENSEIGNANT 233

2 ANALYSE DE LA SEANCE 234
2.1 NARRATION CHRONOLOGIQUE 235
2.2 SYNOPSIS 238
2.3 RESULTATS A L'ECHELLE MESOSCOPIQUE 241
2.3.1 Détails de l'analyse et commentaires 242
2.3.2 Synthèse des résultats à l'échelle mésoscopique 255
2.4 RESULTATS A L'ECHELLE MICROSCOPIQUE 259
2.4.1 Concepts attendus dénommés par l'enseignant 259
2.4.2 Autres concepts épistémologiques 261

ENSEIGNANT C 265

1 ANALYSE A PRIORI 265
1.1 LE PROGRAMME 265
1.2 LES SAVOIRS DE L'EPISTEMOLOGIE A ENSEIGNER 266
1.3 LES INTENTIONS DE L'ENSEIGNANT 267
2 ANALYSE DE LA SEANCE 269
2.1 NARRATION CHRONOLOGIQUE 269
2.2 SYNOPSIS DE LA SEANCE 273
2.3 ANALYSE A L'ECHELLE MESOSCOPIQUE 276
2.4 ANALYSE MICROSCOPIQUE 282
2.5 SYNTHESE DES RESULTATS 285
2.5.1 A l'échelle mésoscopique 285
2.5.2 A l'échelle microscopique 286

CONCLUSION ET DISCUSSION 290

1 SYNTHESE, ANALYSE COMPAREE ET INTERPRETATION DES RESULTATS 290
1.1 TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS 290
1.2 TACHES EN ŒUVRE DANS LES SEANCES 292
1.3 ANALYSE MICROSCOPIQUE ET ARTICULATION DES DEUX ECHELLES D'ANALYSE 295
1.4 L'INFLUENCE DU CONTEXTE D'ENSEIGNEMENT ET RELATIONS AUX INSTITUTIONS DE FORMATIONS ET DE RECHERCHE EN DIDACTIQUE. 297
2 APPORTS ET LIMITES DE CETTE RECHERCHE. 301
2.1 AU NIVEAU METHODOLOGIQUE 301
2.2 PAR RAPPORT AUX RECHERCHES PRECEDENTES 303

2.3 LA PART SUBJECTIVE DU CHERCHEUR 305

3 PERSPECTIVE ET DEVELOPPEMENT 306

3.1 EN TERME DE RECHERCHE 306

3.2 EN TERME DE FORMATION DES ENSEIGNANTS 307

BIBLIOGRAPHIE 312

TABLE DES MATIERES 321

ETUDE DE PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT DE SAVOIRS DE L'EPISTEMOLOGIE

EN CLASSE DE PHYSIQUE DE LYCEE GENERAL

La présente recherche s'appuie sur un ensemble de travaux sur la transmission des savoirs de l'épistémologie des sciences expérimentales et sur un cadre théorique constitué de l'approche interne de l'épistémologie contemporaine de la physique. Elle vise à analyser les activités d'enseignement de l'épistémologie en classe de physique de lycée général en France et porte sur trois études de cas. Les enseignants ont été choisis en raison de leur intention d'enseigner des savoirs de l'épistémologie alors que les programmes ne prescrivent rien de précis à ce sujet. L'analyse repose sur l'étude des praxéologies développées dans le cadre de la théorie anthropologique du didactique. Notre but est de décrire et de comprendre dans ce cadre conceptuel les pratiques d'enseignement de l'épistémologie chez ces enseignants pour qui l'objectif principal reste d'enseigner des savoirs de la physique : les savoirs épistémologiques enseignés en classe ; la manière dont ces savoirs sont enseignés ; les références auxquelles ces savoirs et ces pratiques renvoient ; les facteurs sous-jacents aux choix des contenus et des méthodes d'enseignement ; le rôle que joue leurs conceptions sur l'épistémologie et sur l'enseignement et l'apprentissage de la physique en lycée. Cette étude apporte une nouvelle approche quant à la caractérisation des pratiques d'enseignement de l'épistémologie à partir des seules données d'observation de la classe. Elle met aussi en évidence qu'un dispositif d'accompagnement de l'enseignant relativement à ces savoirs modifie fortement ses pratiques en favorisant leur transposition didactique et en construisant un rapport institutionnel que les enseignants ne peuvent trouver ni dans les programmes ni dans l'institution que constitue l'enseignement de la physique au lycée.

TEACHING PRACTICES OF THE NATURE OF SCIENCE IN HIGH SCHOOL PHYSICS CLASS

This research is based on previous french and foreign works about NOS teaching and learning and on the contemporary epistemological framework. It aims to analyse NOS teaching activities in physics class of French high schools through three case studies. These teachers are chosen because of their intention to teach NOS while the programs impose nothing on the subject. The analysis bases on the study of « praxeologies » developed within the framework of the anthropological theory of didactics. Our general purpose is to describe and understand in this abstract frame NOS teachers' practices for whom the main objective remains to teach knowledges of the physics : the kind of NOS knowledge taught in class ; the kind of references that play a role in teaching NOS ; the factors underlying the choices made by the teachers in terms of NOS content and teaching methods and the role played by their views on NOS, on teaching and learning physics in high school. This study brings a new approach for the characterization of NOS teaching practices onto the exclusive base of the data of observation of the class. It also brings to light that a device of accompaniment with regard to these knowledges modifies strongly their teaching practice by favoring the didactic transposition of these knowledges and by building an institutional relation to knowledge which the teachers cannot find in the curriculum.