

Analyse praxéologique de l'enseignement de l'épistémologie de la physique : le cas de la notion de modèle

Résumé. Les programmes français d'enseignement de la physique en lycée général affichent d'ambitieux objectifs en matière d'épistémologie de la discipline, tout en laissant aux enseignants la charge de définir le détail du texte du savoir à enseigner. Décrire et comprendre comment font les enseignants qui souhaitent enseigner de tels savoirs épistémologiques s'inscrit dans le contexte plus général des recherches sur l'enseignement de la « *Nature of Science* » (NOS), conduites essentiellement à l'étranger. Pour analyser les pratiques d'enseignement, nous avons convoqué certains des concepts de la théorie anthropologique du didactique (Chevallard, 1989, 1992, 1999, 2003) pour étudier de telles pratiques dans le contexte spécifique de l'enseignement des sciences physiques au lycée. L'étude centrée sur l'objet de savoir « modèle » a été menée sur deux séances en classe de seconde (10^{ème} année d'enseignement) par deux enseignants de physique expérimentés. Même si l'institution n'accorde pas une grande place dans l'enseignement de la physique à la notion de modèle, son enseignement s'impose a priori de la même manière aux deux enseignants. Toutefois, sa mise en œuvre et les justifications qu'on peut lui donner sont très différentes, l'un d'entre eux en faisant un objet de savoir à part entière. Cette étude met en lumière que l'enseignement d'objets de savoirs épistémologiques en lycée nécessite des conditions spécifiques, au premier rang desquelles l'explicitation de ce savoir. Elle met aussi en relief la possibilité de caractériser les pratiques d'enseignement de l'épistémologie à partir de ce qui se dit et se fait en classe, sans recourir nécessairement aux données déclaratives des enseignants.

Mots-clés : enseignement, physique, épistémologie, modèle, rapport au savoir, praxéologies.

Abstract : This research is about "Nature of Science" (NOS) teaching. The french high school physics teaching curricula shows ambitious purposes about epistemology of physics, but the teachers have to define the epistemological knowledges to be taught. We would want to describe and understand how do the teachers when they wish to teach those epistemological knowledges. We choose to use the anthropological theory of didactics (Chevallard) in order to study teaching practices in high school (10th year). We focus on how "model" is taught during two lessons by two experienced teachers. Even if the curriculum gives rather no room to models and modelling in physics teaching, the two teachers have to teach them in the same way. However, the observed practices and the justifications each teacher gives about are very different : one of them teaches model and modelling explicitly, and the other teaches it implicitly. This study shows that teaching NOS in high school requires specific conditions, in the forefront of which making NOS more explicit. It also highlights the possibility of characterizing NOS teaching only from what is done in the classroom and not only from teachers' declarations

Keywords : teaching, physics, NOS, model, relation to knowledge, praxeologies

1. Introduction

Que doit-on enseigner quand on doit enseigner les sciences¹ ? Cette question s'est posée dans le cadre des dernières grandes réformes conduites aux Etats-Unis sur l'enseignement des sciences depuis ces vingt dernières années (American Association for the Advancement of Science, 1993). Cela a conduit la noosphère éducative américaine à considérer les sciences comme un ensemble de quatre domaines interdépendants qui doivent tous faire l'objet d'un enseignement (Bell, 2009 ; Hodson, 2014) :

- le corps des connaissances scientifiques : les faits, les concepts, les théories et les lois qu'on trouve habituellement dans les manuels de sciences ;
- les méthodes et processus que les scientifiques utilisent pour élaborer les connaissances scientifiques (notamment ceux qui concernent la collecte puis l'analyse des données et la formulation de conclusions) : observer, mesurer, inférer, émettre une hypothèse, etc. On retrouve là ce que Lederman (2005) regroupe sous le terme de « *Science Inquiry* » et que nous considérons comme équivalent au terme de « démarche scientifique » telle que celle-ci est

¹Les 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 ».

présentée dans l'introduction des programmes français de sciences physiques de la classe de seconde (MEN, 1999, 2010).

- la nature de la science, qui concerne la description de la nature de l'activité scientifique, des buts qu'elle s'assigne, et les caractéristiques des résultats qu'elle produit ; ce domaine est nécessairement en constante élaboration, à l'image de son objet, donc en évolution permanente. Ainsi, les affirmations par exemple selon lesquelles la connaissance scientifique repose sur des preuves empiriques, que les connaissances scientifiques sont sujettes à modification dans le temps, qu'elles influencent la manière dont les scientifiques recueillent et examinent des données, relèvent de la nature de la science.
- Les questions socio-scientifiques : la confrontation des aspects personnels, sociaux, économiques, environnementaux, moraux et éthiques que le traitement de ces questions exige, conduit les élèves à mobiliser des éléments des domaines précédemment cités et vise à développer chez eux des postures critiques.

Tout comme la démarche scientifique qui relève des méthodes et des processus prend une place grandissante dans les programmes d'enseignement des sciences dans le secondaire dans beaucoup de pays, à l'instar de la démarche d'investigation² au collège en France ou de l'*Inquiry Based Science Education* dans les pays anglophones, la place de la nature de la science en tant que domaine d'enseignement à part entière fait partie d'un vaste programme de rénovation de l'enseignement des sciences (Eurydice, 2006, 2011).

La locution « nature de la science » émerge de la sphère éducative et nous semble proche de la définition en langue française d'« épistémologie » qui « s'emploie à discuter du bien-fondé et de la portée » des résultats et méthodes de la science, et « interroge la nature et la valeur des principes, des concepts » que la science utilise (Soler, 2000, p.15). 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 ? » relèvent typiquement du domaine de l'épistémologie.

A ce titre, même s'ils ne sont pas identiques du point de vue de leur milieu d'usage, nous utilisons indifféremment les termes d'« épistémologie » et de « nature de la science » en raison de leur proximité sémantique pour le champ de l'étude qui est le nôtre³ (Pélicier & Venturini, 2012). Cela nous permet de nous appuyer sur les résultats des nombreuses recherches réalisées dans les pays anglophones pour interroger les pratiques d'enseignement en France à ce sujet.

Aussi peut-on constater dans les objectifs généraux des programmes de sciences physiques de lycée français, que l'idée selon laquelle les élèves doivent savoir ce qu'est la science occupe une place importante et récurrente. Ces prescriptions relèvent selon nous du domaine de l'épistémologie. Alors que très peu de détails sont donnés dans la suite des programmes à ce sujet, comme on en trouve à propos de l'enseignement des savoirs de la physique « traditionnels », nous avons cherché à comprendre comment les enseignants de lycée s'y prenaient pour enseigner l'épistémologie alors qu'ils n'ont quasiment jamais rencontré cette discipline ni dans leur parcours de formation initiale ni en formation continue. Les recherches conduites jusqu'ici à l'étranger sur l'enseignement de la « nature de la science » convergent vers un modèle présentant un jeu d'influences réciproques (cf. 2.2) entre les pratiques d'enseignement des sciences et un amalgame de point de vue des enseignants sur la NOS, l'apprentissage et l'enseignement des sciences. Nous avons entrepris de penser ce jeu d'influence différemment en mobilisant les concepts de rapport à un objet et de praxéologie, constitutifs de la théorie anthropologique du didactique. Nous présentons ensuite une étude empirique portant sur deux séances d'enseignement conduites par deux enseignants, choisis en raison de leur intention préalablement déclarée d'enseigner des savoirs relatifs à la nature et à la fonction du modèle, à l'occasion d'une séance portant sur la physique des gaz en classe de seconde. Nous présentons les résultats de cette étude et nous nous attachons dans la discussion à questionner méthodologiquement et théoriquement les apports de la TAD par rapport aux études prises en référence.

² La « démarche scientifique » est présentée dans le préambule du programme de seconde générale comme un prolongement de la démarche d'investigation.

³ La nature de la science inclut une dimension sociologique que l'épistémologie n'inclut pas nécessairement, mais notre étude ne porte pas sur cette dimension, ce qui nous autorise cette utilisation indifférente dans le contexte de cet article.

2. Problématique

Nous proposons de débiter la problématique en examinant les attendus des programmes français d'enseignement des sciences physiques en lycée général sous l'angle de l'épistémologie de la discipline. Dans la perspective d'interroger les pratiques d'enseignement à ce sujet, nous regarderons ensuite ce qu'a produit la recherche à ce sujet, surtout à l'étranger. Un regard critique sur ces études nous conduira à nous interroger sur le type d'investigation qu'il serait souhaitable de réaliser en lien avec notre questionnement initial (cf. paragraphe ci-dessus).

2.1. L'épistémologie dans les programmes du lycée général en France

Les programmes de sciences physiques et les documents d'accompagnement des deux dernières réformes du lycée général en France (MEN 1999, 2001⁴, 2010), affichent à titre d'objectifs généraux de l'enseignement de ces disciplines des éléments qui relèvent de l'épistémologie.

Nous repérons entre autres dans les préambules des programmes de 1999 et 2001 (classes de seconde et de première S), qu'il est souhaitable de transmettre aux élèves que les connaissances scientifiques sont prédictives, explicatives mais provisoires, conçues dans une articulation entre la théorie et l'expérience, cette dernière entretenant « *un rapport particulier avec le réel* ». En cohérence avec ces éléments, le programme de 2010 stipule que les connaissances sont élaborées dans un « *souci d'intelligibilité du réel* » et une perspective unificatrice en « *s'appuyant sur l'observation [et] le concret*. La science y est définie par son objet et sa démarche, comme « *un mode de pensée qui s'attache à comprendre et décrire la réalité du monde à l'aide de lois toujours plus universelles et efficaces, par allers et retours inductifs et déductifs entre modélisation théorique et vérification expérimentale* », ce qui confère aux savoirs scientifiques des « *caractéristiques qui les différencient des autres domaines de la connaissance* ». Dans cette perspective, « *l'enseignement de la physique et de la chimie [doit] donner une place plus importante aux lois et aux modèles qui permettent de décrire et de prévoir le comportement de la nature* ».

Les aspects historiques et sociologiques de la physique et de la chimie ne sont pas absents de ces descriptions. Les connaissances scientifiques sont considérées en effet comme historiquement situées et évolutives, conçues à travers des démarches intellectuelles individuelles et collectives au cours desquelles il est fait appel à l'imagination, la créativité, et le « *faire ensemble* » : « *la science a été élaborée par des hommes et des femmes, vivant dans un contexte temporel, géographique et sociétal donné* » (MEN, 2010, p.2); ainsi, « *les sciences sont aussi, aux côtés des humanités et des arts, un lieu de rencontre avec les constructions les plus élevées de l'esprit humain, qui donnent accès à la beauté des lois de la nature en mobilisant les multiples ressources de l'imagination* » (MEN, 2010, p.1).

Ces aspects généraux sont cohérents avec le point de vue épistémologique explicite selon lequel « *l'exposé axiomatique de la science déjà faite ne correspond pas au mouvement de la science en train de se faire* ». 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* » (1999), les enseignants doivent par exemple :

- « *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* ».

Ces aspects sur la nature de la science sont déclinés par la suite dans les parties dédiées à l'expérimentation, à l'observation, à l'évolution des connaissances et surtout au modèle sur lequel nous reviendrons plus loin.

Cependant, ces objectifs généraux ambitieux ne cachent pas des manques importants dans la définition des contenus épistémologiques et des démarches pour les enseigner.

Tout d'abord, les concepts épistémologiques évoqués ne sont pas considérés comme des objets de savoir à enseigner *stricto sensu*, comme c'est généralement le cas pour les savoirs des sciences physiques. Contrairement à ces derniers, ils ne font pas l'objet d'indications de mise en œuvre dans les

⁴ BOEN HS n°6 du 12 Août 1999, HS n°2 du 30 Août 2001.

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.

Si nous repérons ces manques, c'est en raison de notre point de vue selon lequel le décodage épistémologique des programmes de sciences physiques nécessite de maîtriser un cadre épistémologique de référence pour dégager les savoirs en jeu, leur signification et la posture générale attendue. Ainsi, les objectifs généraux (mentionnés ci-dessus) sont complexes et peuvent laisser place à de multiples interprétations : par exemple, outre la nécessité de savoir ce qu'est un « protocole théorique », pour lequel aucune référence n'est précisée, il y est question également des modalités de validation des résultats scientifiques et de l'évolution de ces modalités dans l'histoire de la pensée scientifique moderne depuis le 17^{ème} siècle ; ces dernières questions conduisent à explorer plusieurs pistes, au premier ordre desquelles on trouve la logique si l'on s'intéresse à la structure des propositions scientifiques ou bien la sociologie des sciences si l'on s'intéresse plutôt à l'activité scientifique qui préside à la genèse de ces propositions. Ce déficit de définition relève, comme le précise Lederman (1992) dans sa revue de questions sur l'enseignement de la nature de la science aux USA, soit du manque de conviction dans la noosphère en l'existence d'une « nature de la science » particulière, soit d'un consensus implicite sur ce que cette expression signifie, comme s'il s'agissait d'objets de savoir tellement évidents pour les auteurs et les lecteurs qu'il n'est nul besoin d'en préciser la signification et l'importance.

En somme, les programmes ne précisent ni l'ensemble des concepts épistémologiques à enseigner, ni ce que sont les savoirs ou les pratiques prises comme référence pour transmettre ces savoirs. Cette situation ne conduit pas les enseignants peu ou pas formés à considérer l'épistémologie comme fondamentale dans l'enseignement des sciences physiques, pas plus qu'elle ne le leur permet. Nous avons entrepris d'essayer de comprendre comment procéderaient des enseignants français de sciences physiques en lycée qui souhaitent s'emparer de ces prescriptions pour en faire un enseignement en classe. A cette fin, nous commençons par présenter un bref aperçu de la littérature de recherche sur l'enseignement de la nature de la science.

2.2. Conceptions des enseignants sur la NOS et pratiques d'enseignement des sciences

Bien que les questions relatives à la place de la NOS dans l'enseignement préoccupe de plus en plus les didactiques des sciences en France, les recherches sur ces questions ont été peu investies jusqu'ici (Maurines & Beaufils, 2011 ; Maurines & al., 2013 ; Péliissier, Venturini & Calmettes, 2007) et cela même si des résultats de recherche qui portent sur des aspects connexes y contribuent (De Hosson et Decamp, 2014). Elles ont fait en revanche l'objet de nombreuses recherches à l'étranger, répertoriées dans la littérature internationale. La plupart de ces travaux portent sur les points de vue des enseignants sur la NOS, et les relations entre ces points de vue et les pratiques d'enseignement des sciences.

De nombreuses études aux États-Unis (Lederman, 1992 ; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000 ; Lakin & Wellington, 1994), en Espagne (Porlan & al., 1998) mais aussi en France (Robardet & Vérin, 1998 ; Roletto, 1998) ont montré de manière récurrente que les points de vue des enseignants sur la NOS sont incohérents : ils apparaissent en effet comme résultant de l'association non réfléchie d'idées appartenant à différents modèles épistémologiques, assemblées sur un fond de savoir commun (Péliissier & Venturini, 2012). Elles possèdent des caractéristiques souvent proches des points de vue des élèves sur la nature de la science. Ces points de vue, repérés comme récurrents à travers les nombreuses recherches conduites dans les pays anglophones depuis une cinquantaine d'années, restent très problématiques par rapport au consensus sur la nature de la science présenté précédemment (cf. 2.), en ce qui concerne la nature des connaissances scientifiques et les processus qui président à leur élaboration (Lederman, 2005), et notamment sur la nature et la fonction des modèles et sur les relations entre l'expérimentation, les modèles et les théories (Désautels & Larochelle, 1989 ; Lederman, 1992, 2005 ; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000). Il reste que les points de vue des enseignants sur la nature de la science semblent d'autant plus homogènes que les enseignants ont une grande expérience professionnelle, alors que celles des enseignants novices sont sensiblement plus variées (Dogan & Abd-El-Khalick, 2008). De plus, des conceptions qui relèvent de points de vue que l'on peut qualifier d'empiristes, liés à la formation initiale, peuvent cohabiter avec une vision constructiviste de la science, liée au développement de la culture personnelle des enseignants (Guilbert & Meloche, 1993).

L'hypothèse de l'existence d'un lien possible entre les points de vue des enseignants sur la NOS et leur pratiques d'enseignement en classe (Lederman, 1999) a marqué de manière récurrente les recherches conduites ces trente dernières années sur les pratiques d'enseignement en général. Au sujet de la nature de la science, cet axe est sous-tendu par l'idée que rapprocher les points de vue des enseignants sur la nature de la science du consensus théorique sur la NOS (Lederman, 1992) aura des effets à terme sur ce qu'en apprendront leurs élèves ; en effet, « *l'hypothèse d'une relation [entre point de vue sur la nature de la science et pratique d'enseignement des sciences] évoque de manière intuitive l'existence d'un lien causal qui va de la compréhension vers l'action. 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).

Quelques études de cas confortent cette hypothèse, que ce soit par l'analyse des pratiques déclarées (Duschl & Wright, 1989), ou par l'analyse de pratiques effectives (Brickhouse, 1990). Ces études convergent sur la conclusion selon laquelle les enseignants agiraient à partir d'un système de points de vue cohérents entre la construction des connaissances par les scientifiques et la construction des connaissances par les élèves, et ce système se renforcerait lui-même par l'expérience de la pratique (ibid.). Nott & Wellington (1996) soulignent que les points de vue des enseignants sur la nature de la science informent leurs pratiques d'enseignement des sciences et sont tout à la fois façonnées par ces pratiques. Toutefois, la portée de ces études de cas reste limitée, et d'autres études à grande échelle (Zeidler et Lederman, 1989, Tobin, K., & McRobbie, 1997) ne confirment pas ces hypothèses. Mais les résultats contradictoires tirés de ces différentes études sont fragiles car ces dernières ne concernent ni des niveaux scolaires identiques (primaire, secondaire) ni les mêmes disciplines scientifiques d'enseignement (physique, chimie, biologie).

Toutefois, cette approche semble féconde, car des travaux plus récents prennent le parti de soutenir la complexité d'un modèle dans lequel les pratiques des enseignants entretiennent une relation d'influence réciproque⁵ avec un système imbriqué de points de vue sur la nature de la science, sur l'enseignement des sciences et l'apprentissage (Porlan & al., 1998, Tsai, 2002, Richoux & Beaufils, 2005, Water-Adams, 2006), dans lequel les uns sont nichés dans les autres (« *nested epistemologies* », selon Tsai). Water-Adams (2006) ajoute que les points de vue des enseignants sur l'épistémologie sont au moins partiellement influencés par leurs points de vue sur l'éducation en général et l'enseignement, et l'influence pourrait aller de la pratique de l'enseignement à la construction d'un point de vue sur l'épistémologie et non le contraire.

Pendant, une étude de cas conduite avec cinq enseignants nord-américains de biologie (Lederman, 1999) aboutit à la conclusion que, en l'absence d'objectifs particuliers d'enseignement de savoirs épistémologiques, « *les points de vue des enseignants sur la nature de la science n'influencent pas nécessairement les pratiques de classe* », et ceci même s'ils présentent des points de vue considérés comme proches de la posture épistémologique attendue par l'institution éducative. La raison en est qu'ils accordent peu d'importance à l'enseignement de ces questions par rapport à d'autres objectifs ou d'autres priorités 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, l'évaluation, etc.

2.3. Vers la question de recherche

Finalement, si nous reprenons ces résultats pour penser a priori le cas de la France, il semble difficile pour des enseignants qui souhaitent s'engager dans un enseignement de l'épistémologie en France au niveau du lycée, de mettre en œuvre un tel enseignement, et par conséquent pour le chercheur d'analyser les pratiques effectives d'un tel enseignement. Cependant, nous faisons l'hypothèse de l'existence de quelques cas de pratiques effectives qui nous permettraient d'entamer une étude dans ce sens.

2.3.1. Quelles pratiques d'enseignement observer ?

Au vu du nombre croissant des questions nouvelles et importantes qui s'imposent aux enseignants de sciences physiques français depuis une dizaine d'année (démarche d'investigation, évaluation des capacités expérimentales, enseignement et évaluation par compétences, etc.) et qui, contrairement aux

⁵ Les points de vue imbriqués sur la nature de la science, sur l'enseignement des sciences et sur l'apprentissage, influencent les pratiques d'enseignement, mais ils sont dans le même temps construits à travers ces pratiques.

questions épistémologiques, ont fait pour certaines l'objet de dispositifs de formation continue conséquents, il nous semble pertinent de transposer le résultat de Lederman à la situation française. Les enseignants de sciences physiques en France n'ont pas ou très peu rencontré l'épistémologie dans leur cursus de formation initiale, ce qui n'est vraisemblablement pas sans influencer leur point de vue sur la nature de la science. Même si l'on peut constater en France, depuis le rapport Lecourt (2000), une introduction progressive de l'enseignement de l'épistémologie dans les parcours de licences scientifiques qui conduisent généralement au concours de recrutement de l'Éducation Nationale (CAPES ou Agrégation de sciences physiques), les unités d'enseignement concernent généralement un seul semestre sur toute la licence, sont souvent optionnelles et associées à d'autres contenus comme l'histoire et la didactique des sciences, et disposent de faibles volumes horaires. Ceci nous semble pas être de nature à générer une grande avancée dans la culture épistémologique des « jeunes » enseignants, qui de plus ont à faire face à des contraintes qui les conduisent à mettre l'accent sur d'autres priorités, et ce d'autant plus que les attendus des programmes à ce sujet n'incitent pas à ce qu'il en soit autrement.

En somme, comme les programmes de sciences physiques au lycée ne précisent ni les contenus épistémologiques à enseigner ni leur place dans des progressions ni les modalités de leur évaluation, des pratiques d'enseignement de l'épistémologie ne sont vraisemblablement observables que dans de rares cas particuliers où les enseignants ont dépassé tout ou partie des obstacles mentionnés précédemment. Il s'en suit que l'enseignement de l'épistémologie doit relever d'une intention propre de l'enseignant, et qu'il se produira très probablement à l'occasion de l'enseignement de certains savoirs de la physique qui s'y prêtent plus que d'autres⁶.

Depuis 2008, les programmes du collège font la part belle à la mise en œuvre d'un enseignement par démarche d'investigation. La démarche scientifique qui occupe une large place dans les programmes du lycée depuis 2011 est présentée comme s'inscrivant dans le prolongement de la démarche d'investigation. De telles prescriptions ont vraisemblablement conduit les enseignants à adopter de nouvelles manières d'enseigner, et à clarifier en même temps leurs points de vue sur la science, ou tout au moins à s'interroger et à interroger leurs pratiques à ce sujet. Mais si l'enseignement par démarche d'investigation est un terrain propice à un enseignement contextualisé de l'épistémologie⁷, à condition que les enseignants en fassent émerger les sous-basements épistémologiques implicites pour eux-mêmes et pour leurs élèves, ce qui ne semble pas être le cas pour l'instant, l'enseignement des sciences physiques au lycée ne s'y réduit pas. Les pratiques d'enseignement y sont encore largement marquées par des manières de faire « classiques », et portent sur des contenus et des savoirs épistémologiques que notre étude, antérieure à la réforme de 2011, explore.

2.3.2. Comment analyser les pratiques ?

Du côté des résultats de recherche relatés, les études de cas qui portent sur des analyses de pratiques contrastent avec des études à plus grande échelle mais déclaratives. Du point de vue du modèle qui nous semble le plus avancé (Water-Adams, 2006), de telles pratiques d'enseignement de la NOS sont complexes à analyser, en raison des interrelations entre déterminants, dans lesquels figurent les points de vue des enseignants sur la NOS -qui sont eux-mêmes des patchworks de modèles épistémologiques, différents d'un enseignant à l'autre-, les points de vue sur l'enseignement des sciences physiques, et les points de vue sur l'apprentissage, le tout en interaction avec la pratique d'enseignement. De plus, ce modèle présente selon nous la faiblesse de conjecturer une imbrication de points de vue sur la NOS, l'enseignement des sciences et l'apprentissage, et d'affirmer en même temps la possibilité méthodologique de séparer les composantes d'un tel agencement. Enfin, ce modèle a été proposé dans des études conduites essentiellement dans les pays anglophones et ces études n'ont pas été prolongées en France.

Il reste que cet enseignement est un enjeu important, notamment au vu de la récurrence dans les programmes de la nécessité de faire comprendre aux élèves ce qu'est la science. Conduire une recherche en France sur ce type d'enseignement est également important en raison de la singularité de

⁶nous appellerons cela un enseignement de l'épistémologie « contextualisé » à l'enseignement des sciences physiques.

⁷Notamment pour ce qui concerne sa composante sociologique. Nous soulignons ici un des deux fondements de la démarche d'investigation : elle est ancrée à la fois dans l'épistémologie et dans l'approche constructiviste de l'apprentissage. A ce sujet, cf. Bächtold, M. (2012) Les fondements constructivistes de l'enseignement des sciences basé sur l'investigation, *Trema*, 38.

l'objet d'étude non exploré jusqu'ici, et de l'existence de cadres théoriques dans les didactiques francophones susceptibles de permettre une telle investigation.

Pour ces raisons, nous avons choisi d'examiner comment un enseignant de lycée français s'y prend pour enseigner des savoirs épistémologiques tout en enseignant la physique. Nous avons pour cela parcouru les programmes pour déterminer où se trouvent les parties les plus favorables a priori à cet exercice. Nous y avons repéré le thème de la physique des gaz en classe de seconde car il y est question du modèle en physique : le modèle est un concept épistémologique central en sciences physiques, et c'est à propos du modèle et de sa place en physique dans ce thème que le programme de seconde est un petit peu plus explicite qu'ailleurs. Nous avons procédé à une analyse détaillée de ce thème pour cerner les attendus du programme sous l'angle de l'épistémologie en accordant une place centrale au modèle, puis examinées des pratiques d'enseignement correspondantes, toujours sous l'angle du modèle. Les pratiques examinées sont des pratiques marquées par une intention didactique des enseignants vis à vis de ce savoir épistémologique. Chacune de ces deux étapes nécessite de mobiliser des cadres théoriques adaptés, à savoir un cadre épistémologique et un cadre d'analyse des pratiques. Nous commençons par préciser le cadre de référence épistémologique sur le modèle.

3. Le modèle en physique

Le modèle, en tant qu'objet épistémologique, occupe une place particulière dans les objectifs généraux des programmes du lycée général, et en particulier dans la partie consacrée à la physique des gaz du programme de la classe de seconde antérieur à 2010. Pour comprendre ce qui est attendu en ce qui concerne la place et le rôle du modèle dans l'enseignement de la physique des gaz, nous présentons quelques points de repères sur ce concept, dont nous aurons besoin pour analyser sous cet angle la partie du programme considérée intitulée « *l'air qui nous entoure* ».

Le modèle physique fait l'objet de différents modes de représentation, et peut être une association de ces différentes modes, à savoir un schéma, une représentation graphique, une proposition en langue vernaculaire ou une expression symbolique ; pour notre étude, et sans souci d'exhaustivité, nous en avons repéré les caractéristiques suivantes⁸ (Bachelard, 1979 ; Bunge, 2001 ; Halbwachs, 1969 ; Joshua & Dupin, 2003 ; Soler, 2000):

- il est une construction rationnelle, un outil d'intelligibilité, une manière de décrire un objet d'étude ou un phénomène observable, en lien avec les éléments conceptuels d'une théorie (exemple du modèle qui décrit le mélange de deux gaz dans une enceinte fermée). Il appartient ainsi au champ des concepts et des théories. Il fait intervenir des grandeurs physiques, mesurables directement ou indirectement via des observables ;
- il est explicatif, prédictif et rétrodictif : sa fonction est ainsi d'expliquer l'objet d'étude, et de prédire ou rétrodire l'évolution spatiale et/ou temporelle des observables ;
- il doit prétendre dans ce cas faire l'objet d'une confrontation aux données expérimentales fournies par la mesure des observables ;
- il peut être figuratif de l'objet d'étude mais pas nécessairement ;
- il peut être non spécifique à un objet d'étude, mais constituer une partie d'une théorie qui a vocation à décrire différents objets d'étude (le modèle du gaz parfait est une partie de la théorie cinétique des gaz) ;
- il possède un domaine de validité limité pour deux raisons :
 - en tant que modèle d'un objet particulier, il dépend d'un cadre théorique, constituant une manière particulière d'examiner l'objet d'étude, et n'a ainsi pas prétention à être la seule manière de le décrire ;

⁸ Les points suivants ne constituent pas une description exhaustive du modèle en physique : il participe à en construire un modèle épistémologique. Ces éléments nous semblent a priori convenir à la description que l'on peut faire du modèle tel qu'on peut le trouver en classe de physique dans le secondaire. Le domaine de validité de cette description du modèle est donc limité au champ empirique que constitue le système didactique étudié.

- en tant que partie d'une théorie, il est utilisable dans des conditions précises que doivent vérifier les objets d'étude concernés, et ces conditions correspondent à un champ empirique spécifique ;
- il peut toujours être amélioré pour être au plus près des mesures obtenues pour les observables, et/ou pour étendre son domaine de validité ;
- il peut être inféré à partir de données expérimentales ;
- il peut être analogique : construit sur un champ empirique donné en s'inspirant d'un autre modèle portant sur un autre champ empirique (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) ;
- il peut constituer une explication à une échelle donnée de phénomènes qui sont observés à une échelle supérieure, comme le fait le modèle cinétique du gaz parfait pour rendre compte des valeurs et des variations des observables macroscopiques que sont le volume, la température et la pression.

4. Eléments de la théorie anthropologique du didactique (TAD)

Pour décrire les pratiques d'enseignement relativement au concept de modèle, nous avons entrepris de penser d'une autre manière la complexité du lien entre pratique d'enseignement de savoirs et points de vue sur la nature de ces savoirs à travers les concepts de rapport aux objets et d'organisations praxéologiques (Chevallard, 1992, 1997, 1999), ces dernières constituant une méthode d'analyse des pratiques dans les institutions, pour d'une part en permettre la description et l'étude des conditions de réalisation, et d'autre part en préciser les fondements, en donner une justification.

Cette approche a été assez peu mobilisée en didactique de la physique jusqu'ici bien que de rares études ont montré sa portée heuristique dans cette discipline (Venturini et al., 2007). Elle propose une manière de comprendre les phénomènes d'enseignement en relation avec des rapports à des objets de savoir en jeu au sein d'institutions. Cela nécessite d'étudier les praxéologies disciplinaires et didactiques, qui permettent d'envisager le caractère situé des connaissances de l'enseignant mobilisées dans sa pratique professionnelle. Par rapport aux travaux mentionnés précédemment, l'utilisation de ce cadre théorique présente des avantages à la fois sur le plan interprétatif dans la prise en compte de la dimension institutionnelle constitutive de l'action didactique, et sur le plan méthodologique, car cette formalisation permet de questionner à la fois ce qui est mis à l'étude par le professeur (praxéologies disciplinaires) et comment, dans le cadre d'interactions avec les élèves, le professeur met en œuvre cette étude (praxéologies didactiques).

Nous proposons de rappeler les principaux concepts mobilisés dans ce cadre théorique.

4.1. Objet rapport à un objet

La théorie anthropologique du didactique introduit d'abord les notions d'objet et de rapport à cet objet. 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). Est considéré comme objet « *tout produit intentionnel de l'activité humaine* » (op. cit.) parmi lesquels on peut trouver tout savoir et par conséquent tout savoir de la physique, comme le concept de force en mécanique, et tout savoir épistémologique comme les concepts de modèle, de loi, de théorie, d'expérience, de démarche scientifique, etc.

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 a un rapport à cet objet, quelle que soit la nature de ce rapport, qui relève de « *savoirs, 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). Le rapport d'un individu à un objet précise la manière dont l'individu connaît cet objet. L'ensemble constitué des objets

connus d'un individu et des rapports personnels de cet individu à ces objets définit *l'univers cognitif* de l'individu.

4.2. Institution et rapport institutionnel à un objet

Pour expliquer la formation et l'évolution de l'univers cognitif d'un individu, Chevallard introduit la notion fondamentale d'*institution*. On ne peut dire d'un individu qu'il connaît ou ne connaît pas, mais seulement qu'il connaît (ou non) dans les termes d'une *institution* particulière. Le terme *institution* est défini par « *un dispositif social « total », qui peut certes n'avoir qu'une extension très réduite dans l'espace social (il existe des « micro-institutions »), mais qui permet – et impose – à ses sujets, c'est-à-dire aux personnes qui viennent y occuper les différentes positions offertes, la mise en jeu de manières de faire et de penser propres* » (Chevallard, 2003). Sont considérées comme des institutions un groupe d'amis ou de collègues, la famille, etc., mais aussi l'« école » et « la classe ». Parmi les différents travaux qui utilisent ce concept, 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* ».

Étant donné un objet, une institution, et une position particulière dans cette institution, on appelle *rapport institutionnel* à l'objet dans cette position particulière le rapport à l'objet qui devrait être, idéalement, celui des sujets de l'institution occupant cette position.

4.3. Assujettissement institutionnel

Le rapport personnel d'un individu à un objet change – ou se crée, s'il n'existait pas encore – par la rencontre avec cet objet qui vit en certaines institutions où l'individu vient occuper une certaine position (Chevallard, 1992). Une personne⁹ est ainsi, dès sa naissance, assujettie (au sens de « *soumise* » et « *soutenue par* ») à un grand nombre d'institutions, telle sa famille, dont elle devient le *sujet*. Ainsi un bon sujet occupant une position dans une institution, est, du point de vue de l'institution, une personne pour laquelle le rapport personnel à l'objet est conforme au rapport que l'institution attend d'un sujet qui occupe cette position. Mais « *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 rapports à des objets. La personne est ainsi « *un émergent de ses assujettissements passés et présents, auxquels on ne saurait donc jamais la réduire* » (Chevallard, 2003). Par conséquent, le rapport institutionnel à un objet pour une position particulière dans l'institution « *n'est le rapport personnel d'aucune personne* » et *se constitue en concurrence avec d'autres rapports au [x objets de] savoir, nés dans d'autres institutions.* » (Garnier & Amade-Escot, 2003, p.25).

Autrement dit, dire d'un individu qu'il connaît ou ne connaît pas un objet nécessite de prendre en compte, une institution particulière, la position que le sujet occupe dans cette institution, et ce que celle-ci attend de ce sujet relativement à cet objet particulier.

4.4. Rapport privé/public d'un individu à un objet

Pour être considéré comme un bon sujet d'une institution, une personne ne peut pas tout montrer de son rapport personnel. Ce dernier est alors nécessairement clivé en :

- un rapport public, qui se donne à voir dans une institution ; il correspond à ce que les sujets « *mettent en visibilité à travers divers canaux et systèmes de signifiants* » (Schubauer-Leoni & Ntamakiliro, 1994) ;
- un rapport privé, « *invisible dans cette institution et donc [qui] échappe à l'évaluation de conformité par cette institution* » (Chevallard, 1992), car élaboré par l'individu « *pour lui-même et qu'il ne juge pas utile ou nécessaire de rendre visible* » (Schubauer-Leoni & Ntamakiliro, 1994) ; il peut le gérer à sa guise dans la mesure où il demeure privé, c'est-à-dire où il n'empiète pas sur la sphère des actes « *publics [dans cette institution]* » (Chevallard, 1996).

⁹ 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 ».

Notamment, un élève ne sera interpellé, didactiquement, que sur le rapport à un objet de savoir qu'il est capable de manifester en classe, et jugé à la conformité de ces manifestations au rapport officiel¹⁰ à cet objet de savoir défini par l'enseignant à un moment donné de la vie de la classe – tout le reste demeurant l'affaire privée de l'élève (Chevallard, 1992).

Cette dichotomie public-privé existe aussi pour une personne occupant la position d'enseignant dans une institution « classe » et dont le chercheur entreprend de décrire les pratiques d'enseignement. En effet, « *une position particulière au sein d'une institution est caractérisée par l'ensemble des gestes qu'une personne occupant cette position est censée devoir accomplir* » (Chevallard, 1997)¹¹.

Cette pratique du professeur, dont le rôle consiste à accompagner l'étude des élèves, peut être analysée à partir des observables que sont 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). C'est ainsi à travers l'ensemble de ses gestes, décrits en lien avec leurs fondements théoriques sous le modèle de *praxéologie*, que l'on peut caractériser son rapport public aux objets de savoir qu'il est censé enseigner.

4.5. Praxéologie.

Une praxéologie, désigne une organisation composée d'une part d'une tâche et de la technique correspondante pour la mener à bien et d'autre part des technologies et théories correspondantes.

4.5.1. Tâche et technique

Chevallard (1997, p.3) 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* ». Les tâches 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. Ce qui permet la réalisation d'une tâche, c'est la maîtrise d'une « *technique* », désignant une « *manière de faire* ».

4.5.2. Technologie et 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 les types de tâches concernés. 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. Mais 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, 1999). Finalement, il existe un système « technologico-théorique », identifié comme un savoir. Plus généralement, le terme de praxéologie renvoie à l'idée fondamentale qu'« *il n'est pas de praxis sans logos ; il n'est pas de logos à jamais innocent d'implications « praxiques* » » (Chevallard, 2003).

4.5.3. Praxéologies disciplinaires et didactiques

L'étude des praxéologies nous permet d'identifier les rapports des enseignants à des objets particuliers de savoir. On distingue les praxéologies disciplinaires des praxéologies didactiques : dans notre cas, les premières permettent de rendre compte de ce que sont les savoirs scientifiques que l'enseignant s'attache à faire exister dans la classe ; les secondes concernent la manière dont ces savoirs sont mis en œuvre en classe par l'enseignant, i.e. décrivent ce que fait l'enseignant pour rendre ces savoirs perceptibles par les élèves. Notre étude portant sur l'objet de savoir épistémologique particulier que constitue le modèle, nous proposons de faire une distinction supplémentaire pour prendre en compte les praxéologies disciplinaires et didactiques spécifiques au modèle. Autrement dit, nous considérons qu'il y a des praxéologies qui portent sur des objets de savoir scientifiques et des praxéologies qui concernent le modèle comme objet de savoir. Nous parlerons ainsi dans ce dernier cas de « praxéologies du modèle ». A ces dernières sont associées des praxéologies didactiques du

¹⁰ C'est la reconnaissance par les sujets d'un rapport officiel au savoir qui permet à la formation épistémologique, donc au savoir et à l'institution, d'exister comme tels.

¹¹ Cette dichotomie privé-public existe aussi dans une institution « entretien de recherche » dans laquelle l'enseignant occupe la position de « sujet interrogé » et le chercheur la position de « conducteur de l'entretien »

modèle, qui décrivent ce que fait l'enseignant pour faire en sorte que les élèves perçoivent et construisent ou modifient leur rapport à l'objet de savoir « modèle ».

5. L'apport des praxéologies à notre étude

Outre le fait que l'étude des pratiques d'enseignement de savoirs de l'épistémologie n'a pas fait l'objet de recherches en France, l'emprunt au cadre de la TAD à cette fin est également inédit ; c'est pourquoi nous proposons d'argumenter le choix d'une telle démarche par rapport aux travaux parus dans la littérature internationale sur la NOS.

Le concept de rapport personnel à un objet est très large et selon nous, recoupe voire englobe la notion de « point de vue » utilisée dans la littérature anglophone¹². Il contient deux dimensions essentielles qui permettent de mieux le préciser par rapport au concept anglophone :

- le concept de rapport à un objet de savoir renvoie à tout ce qu'un individu pense ou fait avec ou concernant cet objet de savoir ;
- l'enseignant et les objets de savoir sont inscrits dans différentes institutions qui « *permettent et imposent une manière de faire et de penser propre* » (Chevallard, 2003).

Le choix de la TAD est porté par l'analogie que nous avons perçue entre le système que forment les deux blocs (tâche-technique et technologie-théorie) dans le concept de praxéologie et le lien entre points de vue et pratiques dont il est question dans les articles anglophones. Là aussi, l'analyse des pratiques sous l'angle des praxéologies permet de mieux circonscrire l'objet d'étude : les praxéologies sont un moyen de modéliser les pratiques d'un enseignant dans une institution à partir de son action que l'on peut décrire à partir de ses gestes, en prenant en compte simultanément ce qui fonde et/ou légitime cette action. Elles sont par définition tirées de la pratique, que ce soit à travers les gestes de l'enseignant in situ (tâches, techniques) ou par inférence à partir de ces gestes (technologies, théories), alors que les études sur les points de vue reposent essentiellement sur des éléments déclaratifs¹³. Nous nous attachons ainsi à comprendre l'activité de l'enseignant en classe en lien avec son rapport à des savoirs épistémologiques en étudiant les praxéologies qui nous permettent d'accéder à la composante de ce rapport personnel qu'il rend publique dans cette institution.

6. Question de recherche

Le cadre de la TAD nous permet d'appréhender d'une nouvelle manière la question du lien entre les pratiques d'enseignement de la NOS et le point de vue des enseignants à ce sujet, en nous centrant principalement sur ce qui est mis en jeu dans l'action didactique. Nous proposons de reformuler la problématique débütée précédemment dans les termes de cette approche, pour penser a priori les phénomènes d'enseignement du modèle dans le contexte de l'enseignement de la physique en lycée français, et poser par la suite notre question de recherche.

Dans la mesure où aucune exigence n'est clairement formulée dans les programmes à propos du modèle, cela signifie que l'institution ne définit pas réellement un rapport institutionnel au modèle qu'elle imposerait aux sujets en position d'enseignant ou en position d'élève. Les enseignants ont ainsi entière liberté à propos de ce qu'ils décident de montrer aux élèves à propos du modèle, mais ils doivent en revanche, dans une logique transpositive, élaborer complètement le texte du savoir à enseigner. On peut alors penser qu'ils le font sur la base d'un rapport personnel au modèle construit sans doute uniquement en position d'élève et d'étudiant au cours de leurs études secondaires et supérieures, mais aussi –surtout pour des enseignants expérimentés– en position d'enseignant au cours de leurs années de pratique professorale.

¹² Le terme de « *view* » utilisé dans la littérature anglophone renvoie habituellement en français à ceux de « compréhension », « point de vue », « opinion personnelle », à propos de quelque chose.

¹³ cette approche nous prive de disposer éventuellement d'éléments de points de vue de l'individu –accessibles traditionnellement via des entretiens– qui rendent compte de ce qu'il connaît, donc qui entrent dans la composante privée par rapport à l'institution « classe » de son rapport personnel. Mais ceci est sans conséquence dans la mesure où cette composante n'est pas rendue visible dans cette institution et n'entretient pas de lien avec sa pratique – cela est cohérent avec les résultats de Zeidler & Lederman (1989) que nous avons pu notamment vérifier localement au niveau des professeurs stagiaires en IUFM (Pélissier & Venturini, 2005) – pour des raisons diverses propres à l'enseignant et que nous ne nous attacherons pas à déterminer.

Nous faisons l'hypothèse que, dans ces conditions, le savoir enseigné relève de la composante rendue publique dans l'institution « classe de physique » du rapport personnel de l'enseignant au modèle. Cette composante publique constitue vraisemblablement la totalité du rapport personnel de l'enseignant si l'on considère que le rapport institutionnel qui le contraindrait à cacher une partie de son rapport personnel pour être un bon sujet en position de professeur, est inexistant. Poser la question du rapport de l'enseignant au modèle, revient à poser la question des praxéologies qui sont constitutives de ce rapport au modèle. Autrement dit, 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 personnel sous-jacent de l'enseignant au modèle, en l'absence d'un rapport institutionnel marqué. L'enseignant peut par conséquent produire librement une praxéologie originale à partir de son rapport personnel au modèle.

Comme nous l'avons avancé précédemment (cf. 2.3.1), un enseignement du modèle qui réponde aux objectifs généraux figurant dans le préambule aux programmes (MEN, 2001) n'est alors initié que par une intention propre de quelques enseignants. Qu'est-ce qu'un tel enseignant donne ainsi à voir aux élèves à propos du modèle dont il peut montrer en classe ce qu'il souhaite car cet objet est a priori peu contraint par un rapport institutionnel ?

- Le modèle peut constituer un objet dans un enseignement d'épistémologie de la physique. Comme un tel enseignement ne peut se faire que ponctuellement, le modèle peut être abordé comme un objet particulier qui qualifie la nature de certains savoirs de la physique indépendamment du corpus théorique auquel ces derniers appartiennent ; les élèves et l'enseignant « manipulent » cet objet via ses caractéristiques épistémologiques. Les praxéologies didactiques associées peuvent prendre la forme d'analyses « méta » sur les activités scientifiques conduites en classe, portant sur des modèles de la physique travaillés en classe pour en faire émerger de manière inductive la nature et les propriétés épistémologiques. Par exemple, il peut être question de travailler sur les points communs et différences entre le modèle de la chute libre, celui du pendule simple, le modèle de l'atome ou du gaz parfait.
- L'objet épistémologique « modèle » peut être désigné ponctuellement de manière contextualisée, c'est à dire à l'occasion d'un travail sur un modèle de la physique particulier, en raison d'une propriété particulière du modèle : par exemple, il peut être question en classe du modèle de la chute libre d'un corps sans frottement et sans vitesse initiale. Ce modèle peut être désigné comme tel en raison de sa capacité à prévoir les valeurs de grandeurs physiques, prévisions qui seront confrontées à des données expérimentales, ou bien à présenter un domaine de validité limité, dans lequel les vitesses sont inférieures à une certaine valeur. A la différence du cas précédent, la praxéologie didactique associée consiste à rester dans le champ de la physique pour dégager des propriétés de ce modèle là, sans que ces propriétés participent à définir le concept de modèle de manière plus générale.

Ces deux possibilités constituent deux praxéologies attendues du modèle. Elles sont associées à deux praxéologies didactiques différentes. Nous cherchons donc à déterminer quelles sont ces praxéologies du modèle en œuvre dans la classe, et les praxéologies didactiques associées, quand les enseignants ont l'intention d'enseigner ce savoir, alors qu'ils enseignent surtout des savoirs de la physique.

7. Méthodologie

Pour répondre aux questions précédentes, nous avons procédé à une analyse a priori de la partie du programme sur laquelle portent les séances (physique des gaz), recueilli des données sur les séances ainsi qu'auprès des enseignants, et les avons analysées sous l'angle des praxéologies du modèle et des praxéologies didactiques du modèle.

7.1. Travail préparatoire au choix de la séance à observer : analyse du thème de la physique des gaz sous l'angle du concept de modèle

Les instructions officielles (MEN, 2001) portant sur les sciences physiques en classe de seconde, indiquent que l'enseignement de la physique des gaz (thème : « l'air qui nous entoure ») 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* ».

Cette partie du programme recèle plusieurs notions essentielles et plusieurs niveaux d'analyse : à l'occasion de la « *description d'un gaz à l'échelle microscopique* » sans qu'il soit mentionné le terme de modèle, les élèves doivent apprendre que « *la matière est constituée de molécules en mouvement* ». Ce modèle du gaz ne constitue pas l'aboutissement d'un travail de modélisation, mais doit être 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 » en tant que composante d'une théorie et son étayage par une valeur numérique confère implicitement à ce savoir un statut épistémologique d'objet empirique. Il est proposé de convoquer ce modèle pour expliquer une observation du « *mouvement brownien* » à l'aide d'un microscope, mouvement se manifestant par le déplacement aléatoire d'une particule de poussière dans un gaz ou un liquide. Selon ce modèle, le mouvement brownien rend compte de 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. Cela s'explique de la manière suivante : on considère que lorsque une particule se déplace dans une direction quelconque selon une trajectoire rectiligne, elle change de direction lors de la rencontre avec une autre particule avec laquelle elle entre en collision (choc). Dans le mouvement brownien, le déplacement aléatoire de la particule de poussière, observable au microscope, est expliqué par les chocs aléatoires qu'elle subit lors des rencontres avec des molécules du milieu qui elles ne sont pas directement observables par ce moyen. Pour rendre compte du lien entre le modèle du gaz et le mouvement de la particule de poussière, les instructions précisent que « *les logiciels de simulation sont d'une aide précieuse* ». Mais ce modèle complexe inadapté 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.

Le programme suggère de mettre en œuvre une activité expérimentale pour 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 nature différente, 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 peut être question de construire 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 gaz¹⁴. Nous sommes donc dans ce qui relève d'une partie de la démarche de modélisation, celle qui consiste à établir des relations entre des observables et la théorie cinétique des gaz, dans laquelle on peut s'attendre à trouver différents éléments qui se rapportent aux notions épistémologiques d'« observation », de « théorie » et de « modèle ». Ainsi l'enseignement de la notion de pression apparaît comme celui d'un modèle à construire à partir de phénomènes observés (mouvement brownien et mélange de deux gaz) et de la théorie cinétique des gaz, cette dernière constituant un cadre qui permet d'expliquer les premiers.

¹⁴ Cette lecture du programme n'est vraisemblablement pas la seule possible, mais c'est une lecture dans laquelle nous avons accordé une place centrale au modèle.

Ceci s'inscrit selon nous en cohérence dans le cadre plus général du préambule du programme dans lequel la question des modèles et de la modélisation fait l'objet des recommandations suivantes¹⁵ :

- l'« *exercice demodélisation du réel* » est présenté comme une démarche centrale et « *la plus difficile dans la démarche scientifique* », en tant qu'élément d'articulation des deux registres du phénomène et de sa représentation :
- « *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* » ;
- « *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* » ;
- « *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* ».

7.2. Recueil des données

Nous avons procédé à deux études de cas relatives à l'enseignement de la physique des gaz par deux professeurs (A et B) en classe de seconde. Nous avons choisi ces deux enseignants en raison de leur intention déclarée de vouloir enseigner ce qu'est un modèle notamment à l'occasion des séances observées, soit une séance de deux heures pour chaque enseignant. Ces deux séances se déroulent toutes les deux dans le courant du troisième trimestre de l'année scolaire. Ces deux classes de seconde présentent sensiblement le même nombre d'élèves (34/35) et appartiennent à deux lycées de deux grandes villes différentes ; la première est marquée par une sociologie des élèves plus homogène que la seconde, mais nous n'avons pas pris en compte cet élément dans nos hypothèses. Les séances ont fait l'objet d'un enregistrement audiovisuel en plan large depuis le fond de la classe, permettant de capter la trace écrite au tableau ; les enseignants étaient équipés d'un microphone HF permettant d'accéder aux propos échangés entre l'enseignant et l'ensemble de la classe ou bien l'enseignant et un groupe d'élèves particulier. Les interactions verbales ont été retranscrites mot à mot sans toutefois en notifier les intonations. Les gestes et déplacements de l'enseignant et des élèves n'ont pas été pris en compte.

Les séances ont été précédées d'entretiens visant à interroger précisément les enseignants sur leurs intentions épistémiques et didactiques relativement à la notion de modèle. Un entretien post-séance « à chaud » a été réalisé pour recueillir les points de vue des enseignants sur des moments qui nous ont semblé singuliers. Cette singularité émerge de la mise en tension de l'analyse a priori et/ou des intentions de l'enseignant avec le contenu des interactions. Enfin, nous avons procédé à un entretien post-analyse plusieurs semaines après, afin de prendre le point de vue de l'enseignant sur nos analyses, dans le seul but de réduction des incertitudes d'interprétation.

7.3. Traitement du corpus de la transcription

Le traitement du corpus des interactions s'est déroulé en trois phases : la première consiste à identifier des épisodes particuliers. Ces derniers font l'objet à leur tour d'une étude des praxéologies disciplinaires et didactiques.

7.3.1. Le repérage des épisodes pertinents pour notre étude

Nous avons identifié dans le flux des interactions des épisodes que nous avons estimés pertinents car ils présentent des caractéristiques qui renvoient à l'étude a priori relevant du modèle ; ils concernent :

¹⁵ L'enseignement des sciences au Lycée, annexe aux programmes d'enseignement de la classe de seconde générale et technologique, BOEN HS n°2 du 30 août 2001, p. 8.

- l'analyse épistémologique d'une activité de la physique conduite en classe ou hors de la classe ;
- la description d'un modèle existant, qualifié dans la littérature scientifique en tant que tel, et constituant un élément d'une théorie plus générale (ex : le modèle du gaz parfait, le modèle de Van der Waals, le modèle de la goutte liquide, etc.) ;
- l'utilisation d'un modèle pour décrire un objet d'étude en classe (ex : la description, en prenant appui sur le modèle du gaz parfait, du processus de mélange de deux gaz dans une enceinte fermée) ;
- l'amélioration d'un modèle existant (ex : passage d'un modèle qualitatif à un modèle quantitatif) ;
- la construction d'un modèle d'un objet mis à l'étude à partir d'un cadre théorique de la physique identifié.

Nous avons considéré a priori que ces épisodes se situaient sur des durées de quelques minutes à une quinzaine de minutes, à l'image du séquençage des corpus en thèmes à l'échelle mésoscopique mis en œuvre dans les analyses conduites avec une approche comparatiste (Tiberghien et al., 2007) ; il nous semble en effet que si les activités en classe passent nécessairement à un moment donné par un travail en lien avec des modèles, cela va au-delà de l'échelle de l'interaction (niveau microscopique), sans toutefois qu'un travail sur un modèle particulier ou sur un aspect particulier de la notion de modèle occupe toute la séance (niveau macroscopique).

7.3.2. L'étude des praxéologies

Cette éventualité nous a porté vers le choix du niveau mésoscopique pour effectuer nos analyses car ce type d'activité devrait occuper une ou plusieurs parties d'une séance. En effet, en raison de l'absence de prescription en ce sens, il nous a semblé plus probable que l'enseignant donne forme à des savoirs sur le modèle en s'en tenant à la mise en œuvre dans la classe d'activités scientifiques qui font intervenir des modèles de la physique particuliers qu'il désigne en tant que tels, et dont il décrit la nature et les propriétés d'un point de vue épistémologique. Ainsi, nous avons analysé le corpus par un va et vient entre l'échelle mésoscopique des épisodes et l'échelle microscopique des interactions pour pouvoir définir les praxéologies à l'échelle de l'épisode.

La détermination des composantes technologique et théorique des praxéologies du modèle s'effectue simultanément :

- par inférence à partir du doublet tâche-technique ;
- par l'analyse à l'échelle des interactions verbales (niveau microscopique) des signifiés associés au terme de modèle, en cherchant à identifier le sens que l'enseignant donne à entendre aux élèves à propos du modèle. Cette analyse microscopique est réalisée sur tout l'empan temporel de l'épisode pour identifier le sens que pourrait associer un élève au concept de modèle à cette échelle. Ceci repose sur l'hypothèse que la compréhension par les élèves des savoirs relatifs au modèle dépend de leur identification et donc de leur niveau d'explicitation dans la classe. Cette hypothèse est soutenue par l'idée que ce qu'apprennent les élèves est en relation avec ce qui se dit et se fait en classe, et reprend l'idée de Tiberghien et al. (2007) selon laquelle l'enseignement se fait à travers le signe.
- dans une mise en tension entre les deux points précédents.

Une première analyse de ce qui se dit dans la classe à propos du modèle nous a conduit à repérer deux registres possibles que nous qualifierons d'*explicite* et d'*implicite* :

- *registre explicite* : le savoir sur le modèle est explicite dans le discours de l'enseignant ; ce dernier qualifie nommément la nature épistémologique (modèle) des savoirs de la physique dont il est question et souhaite faire comprendre aux élèves quelle est la nature et la place de ce concept dans le fonctionnement de la physique. Les différentes manières de faire émerger dans la classe et de désigner ces savoirs sur le modèle constituent autant de techniques didactiques en lien avec ces savoirs. Nous avons distingué 3 niveaux (e1, e2, e3) dans ce registre, selon le sens des propos de l'enseignant à propos du modèle.

Niveau d'explicitation	Techniques didactiques associées
Niveau e1	désignation explicite du modèle, i.e. explicitation du savoir de la physique en tant que modèle : par exemple « <i>voyez, ceci constitue le modèle du gaz parfait</i> », ou bien « <i>voici le modèle de l'atome</i> »
Niveau e2	évocation d'une caractéristique du modèle dans le contexte du fonctionnement de la physique limité aux savoirs travaillés durant la séance. Par exemple (non exhaustif) : <ul style="list-style-type: none"> • « <i>ceci constitue la limite de validité du modèle "x"</i> » ; • « <i>les données que nous avons obtenues s'accordent avec ce que prévoyait le modèle</i> » ; • « <i>ce modèle explique le mélange des deux gaz dans l'enceinte fermée</i> ».
Niveau e3	dé-contextualisation et explicitation d'une définition plus générale du modèle. Par exemple, et respectivement en lien avec les exemples du niveau e2 (non exhaustif) : <ul style="list-style-type: none"> • « <i>un modèle possède une limite de validité</i> » ; • « <i>un modèle est validé par la correspondance entre ses prévisions empiriques et les données expérimentales</i> » ; • « <i>un modèle explique le comportement d'un objet d'étude et permet de prévoir les valeurs des observables</i> ».

Tableau 1 : niveaux du registre explicite à propos du modèle

- registre implicite¹⁶ : ce que fait ou dit l'enseignant peut être interprété comme en lien avec la notion de modèle en physique, mais l'identité de ce concept et ses caractéristiques restent implicites et lisibles seulement pour le chercheur, doté d'une grille de lecture lui permettant de l'identifier.

Les technologies et théories liées aux praxéologies didactiques du modèle ont été inférées uniquement à partir de l'analyse et de la caractérisation des tâches et des techniques correspondantes.

Pour illustrer la mise en œuvre de cette méthodologie, nous présentons dans ce qui suit un exemple détaillé d'analyse du corpus.

8. Résultats

A titre d'illustration de la méthodologie, nous débutons cette partie en présentant l'analyse réalisée sur deux épisodes (notés A/2 et A/3) tirés de la séance réalisée par l'enseignant A. Nous présenterons les résultats de l'étude conduite avec les deux enseignants sur l'ensemble de leur séance dans un deuxième temps.

8.1. Un exemple d'étude des praxéologies

La séance de l'enseignant A se situe au milieu de la progression sur le thème de la physique des gaz ; elle est réalisée en groupe de travaux pratiques (moitié de classe) et porte sur le passage d'un modèle qualitatif de l'évolution de la pression d'un gaz dans une enceinte fermée à un modèle quantitatif. La séquence dans laquelle elle est inscrite a été conçue par le groupe SESAMES, constitué d'enseignants de sciences physiques et de chercheurs en didactiques ; elle est publiée sur le site

¹⁶nous n'avons pas exclu d'emblée l'idée que les élèves puissent construire des significations à propos de la notion de modèle alors que le terme de modèle n'est pas explicite dans la classe. Nous pensons qu'il peut y avoir apprentissage même si les savoirs épistémologiques sont implicites. A ce sujet, l'étude conduite par Brickhouse (1990) montre que certains types d'activités mises en œuvre systématiquement (en l'occurrence la résolution de problème) en classe de physique induisent chez les élèves une vision des pratiques de référence de la discipline en relation avec ces activités. De même, Zeidler&Lederman (1989) ont mis en évidence que le discours scolaire ordinaire utilisé pour communiquer des contenus scientifiques offre un contexte dans lequel les élèves construisent leurs points de vue sur la science. Ainsi, nous pensons que si l'enseignant a l'intention de parler de modèle, que les élèves perçoivent des éléments en classe qu'ils sont supposés associer au modèle, et que ces éléments sont structurés de manière à être reconnaissable comme des figures caractéristiques du modèle, les élèves pourraient apprendre implicitement ce qu'est un modèle si ils sont en mesure de retrouver ces figures de manière récurrente. Si l'intention de l'enseignant ne concerne qu'une ou deux séances dans l'année, il est peu probable que les élèves identifient ce qu'est un modèle si il n'est pas explicitement identifié en tant que tel.

PEGASE¹⁷, et a fait spécifiquement par ailleurs l'objet d'autres travaux de recherche (Givry, 2003 ; Givry & Tiberghien, 2012).

Afin de situer l'épisode dans la séance, nous présentons le synopsis de cette dernière, i.e. son découpage en épisodes identifiés sous l'angle de l'objet « modèle », dans lequel chacun de ces épisodes est décrit sommairement du point de vue de la tâche prescrite en lien avec la notion de modèle. Nous décrivons ensuite l'analyse praxéologique réalisée sur les deux épisodes choisis. En raison de la longueur de cet épisode, nous ne donnerons que des extraits significatifs des transcriptions verbatim pour illustrer le détail des analyses ; les extraits ont été choisis en raison de leur exemplarité au regard de nos questions de recherche.

8.1.1. Synopsis de la séance (durée : 1h30)

Cette séance comprend 4 épisodes identifiés dans le flux du corpus sur la base des critères relatifs au modèle tels qu'ils ont été définis dans la section 7.3.1. Leurs durées varient de 12 à 33 minutes.

Lors de la séance précédente, les élèves ont été conduits à construire un modèle macroscopique qualitatif du comportement de l'air, reliant les grandeurs physiques de la pression et du volume de l'air : la variation de volume d'air contenu dans une seringue -dont l'embout est relié à un instrument de mesure de la pression- varie de manière inverse à la variation de la pression (« *la pression p augmente quand le volume V diminue* »).

Episode A/1 (12'30) : en ce début de séance, les élèves doivent interpréter ces variations conjuguées de pression et de volume à l'aide de la définition du modèle microscopique des gaz¹⁸ fourni par l'enseignant et de l'interprétation microscopique du concept de pression. Puis, ils doivent vérifier à l'aide d'un simulateur¹⁹ la cohérence des prévisions entre le modèle macroscopique et son interprétation au niveau microscopique.

Episode A/2 (13') : les élèves ont à identifier la nature des savoirs rencontrés au cours de leur démarche de construction du lien qualitatif entre la pression et le volume d'un gaz dans une enceinte fermée, selon que ces savoirs appartiennent au « monde des théories et des modèles » ou à celui « des objets et des événements » et ont à représenter sur un schéma le chemin suivi entre ces deux mondes.

Episode A/3 (33') : Les élèves ont pour tâche de faire évoluer la relation précédente du stade qualitatif au stade quantitatif (loi de Boyle-Mariotte), c'est-à-dire trouver à relier les grandeurs pression et volume par une relation mathématique à identifier parmi quatre propositions fournies ($P \cdot V = \text{constante}$).

Episode A/4 (31') : Les élèves doivent réinvestir la démarche précédente pour déterminer les relations qualitative, puis quantitative ($P/T = \text{constante}$) qui décrivent l'évolution de la pression de l'air dans une enceinte fermée à volume constant quand on fait varier sa température.

8.1.2. Détail de l'analyse praxéologique de l'épisode A/2 (min 12 à min 25)

- **Praxéologie du modèle :**

La tâche dans laquelle s'inscrivent les élèves relève ici de l'épistémologie : il s'agit ici pour eux d'analyser de manière réflexive la nature des objets de la physique sur lesquels ils travaillent, selon que ces objets appartiennent au monde des théories et des modèles ou au monde des objets et des événements.

Enseignant A (tour de parole 45) : « ...alors je vous demande de faire cette activité / on va mettre / en haut / il y a les théories / plus générales / mais aussi les modèles / essayez de voir ce qu'on a parcouru ici en

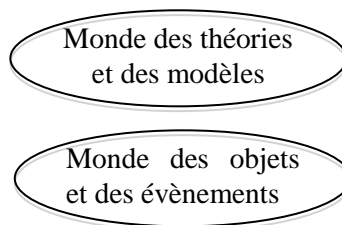
¹⁷url : http://pegase.ens-lyon.fr/theme.php?rubrique=1&id_theme=8

¹⁸modèle microscopique d'un gaz : « 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 température du gaz est liée à l'agitation des molécules. On parle d'agitation thermique. Plus la vitesse moyenne des molécules est élevée, plus l'agitation thermique est importante et plus la température du gaz est élevée. Plus la vitesse moyenne des molécules est petite, plus l'agitation thermique faiblit, plus la température du gaz est faible. L'absence d'agitation thermique correspond au zéro absolu. »

¹⁹ A l'écran de ce simulateur figure une seringue dans laquelle est représenté un ensemble de molécules d'air animées d'un mouvement aléatoire. Une commande permet à l'utilisateur de faire varier la température, ce qui a pour effet d'augmenter ou de diminuer la vitesse de déplacement des molécules. La grandeur pression du gaz affichée varie comme le nombre de chocs des molécules sur le piston.

répondant à ceci / interpréter le fait que / à l'aide des modèles que lorsque on diminue le volume on arrive à la pression augmente / 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 ? / dites moi un petit peu comment on a navigué entre ces deux patateslà /ça vous le faites sur votre feuille / aller-y

Trace écrite au tableau par l'enseignant à ce moment-là:



Elève (59) : *je mettrais "la pression augmente" dans le modèle*

Enseignant (60) : *il mettrait "la pression augmente" dans le modèle / tu peux donner un argument pour ça?*

Elève (64) : *le volume diminue / c'est un truc très concret / on le voit / c'est un événement parce que le volume diminue*

Enseignant (65) : *je prends le cas de la seringue d'accord ? / alors en fait quand on dit le volume diminue on utilise le volume au sens*

Elève (66) : *de la grandeur / non*

Enseignant (67) : *au sens quotidien / courant /c'est un mot du langage quotidien le volume / enfin il me semble / mais c'est aussi une grandeur physique / certes c'est les deux /mais c'est vrai que si on dit "diminue le volume" il faudrait dire quoi si on voulait vraiment être sûr que c'est pas une grandeur physique*

Elève (68) : *on pousse le piston*

Enseignant (69) : *on pousse le piston / alors là on est sûr de son coup / si on dit on pousse le piston c'est un événement*

La technique associée à la réalisation de cette tâche consiste à repérer des objets particuliers dans le déroulement de la séance, et à s'appuyer sur le schéma du modèle épistémologique dit « théorie spécifique des deux mondes » (Buty, Tiberghien & Le Maréchal, 2004, Tiberghien, 1994), qui fait figurer deux ensembles (les « patates »), dans lesquels sont notés « théories et modèles » et « objets et événements ». La technique est elle-même au moins partiellement explicitée par l'enseignant (cf. notamment dans l'extrait précédent).

La technologie est une réflexion sur le cheminement effectué dans l'activité de construction ou d'utilisation de modèle afin d'en identifier la nature épistémologique. Caractériser un savoir de la physique indépendamment de la spécificité du champ des objets physiques auquel il est associé nécessite en effet de mobiliser les savoirs théoriques de l'épistémologie : ici, il s'agit d'une forme de transposition de ces savoirs sous la forme de la théorie spécifique des deux mondes (id.).

Dans les propos de l'enseignant, on observe qu'en raison du cadre épistémologique spécifique qu'il convoque, les modèles ont un statut épistémologique qui les classe dans le même monde que celui des théories, et de manière distincte des objets et des événements (niveau d'explicitation e3), conformément à ce qui est prévu dans la conception de la séance par le groupe SESAMES (Tiberghien, Vince & Gaidioz, 2009). Au-delà de cela, le terme de modèle regroupe tout ce qui est de l'ordre du concept physique : la pression et le volume en tant que grandeurs physiques appartiennent au monde des modèles.

- **Praxéologie didactique du modèle**

Tâche didactique : l'enseignant s'emploie à faire apprendre aux élèves que le travail réalisé lors de la construction de la relation entre la pression et le volume peut être décrit comme un aller-retour entre le monde des modèles et des théories, et celui de objets et des événements.

Technique didactique : après l'établissement du modèle qualitatif entre la pression et le volume d'un gaz dans une enceinte fermée, l'enseignant arrête le cours de la séance du point de vue de la physique et se situe sur le plan épistémologique ; il amène les élèves à prendre du recul sur ce qui a été réalisé, désigne quelques éléments particuliers : « *vous en pensez quoi ? / le volume diminue, est-ce que c'est un évènement, ou est-ce que c'est déjà dans le modèle ?* ». D'autres objets de savoir du même type sont également pointés : « *la pression augmente* », « *le nombre de chocs des atomes du gaz sur la paroi augmente* », « *on pousse sur le piston* », « *le pressiomètre indique une valeur plus grande* ». En résumé, la technique didactique utilisée par l'enseignant revient à faire prendre une posture épistémologique aux élèves, sans d'ailleurs le leur dire.

Nous ne pouvons différencier ici la technologie de la théorie : nous inférons de la tâche et de la technique de cet enseignant que selon lui, caractériser un savoir de la physique du point de vue de l'épistémologie du modèle, cela s'apprend en classe en faisant pratiquer l'épistémologie par les élèves, au sens d'une réflexion sur les savoirs travaillés en classe, mais en s'appuyant sur un modèle épistémologique particulier (théorie des deux mondes). De plus, selon lui, la technique utilisée se justifie aussi par le fait qu'elle participe également à l'apprentissage et la construction de sens de savoirs et qu'elle relève aussi pleinement de la pratique scientifique, comme en témoigne cet extrait :

« (...) ça vous permet de bien séparer ce qui relève de l'observation / ce qui relève de l'interprétation et de l'usage de modèle / séparer ce qui relève des concepts qu'on utilise là de ce qu'on voit et vous avez vu que c'est par fois pas simple parce qu'il y a des mots qui sont à double tranchant, le mot volume on ne sait plus bien si c'est diminuer le volume, est-ce que c'est conceptuel ou est-ce que c'est un truc qu'on voit, c'est un vrai exercice scientifique. »

8.1.3. Détail de l'analyse praxéologique de l'épisode A/3 (min 25 à min 58)

- *Praxéologie de la physique (relative à loi de Boyle-Mariotte)*

Les praxéologies décrites ci-après résultent d'une reconstruction que nous avons réalisée au niveau des interactions pour caractériser les tâches à l'échelle de l'épisode. L'enseignant présente en tout début d'épisode l'activité qui consiste à faire évoluer un modèle de description de l'état physique d'un gaz dans une enceinte fermée par deux grandeurs (pression, volume) du stade qualitatif au stade quantitatif :

« on va améliorer le modèle macroscopique / on va rester au niveau macro pendant un temps / en physique on a été capable d'établir le lien qualitatif entre la pression et le volume / donc des quatre relations que je vous propose / 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 / pour l'instant on a juste dit quand le volume diminue la pression augmente / à l'inverse / quand le volume augmente / la pression diminue / maintenant on va plus loin / on va dire comment ça diminue ou comment ça augmente / (...) »

La tâche repérée dans cet épisode est explicitement du domaine de l'amélioration d'une relation déjà connue. Ce n'est pas à proprement parler une tâche épistémologique dans la mesure où il n'est pas question d'analyser le fonctionnement de la physique, mais il s'agit d'une tâche qui porte sur un objet épistémologique particulier que constitue le passage d'un modèle qualitatif à un modèle quantitatif dans la physique des gaz. Dans la mesure où il est question de travailler précisément sur un savoir de la physique, tout en rendant visible que ce savoir possède un statut et des propriétés épistémologiques particulières, il s'agit ainsi typiquement d'une tâche dans laquelle l'objet épistémologique « modèle » est contextualisé à un savoir de la physique, en l'occurrence, la loi de Boyle-Mariotte. Nous sommes ici dans le cas d'une praxéologie de la physique qui sert de vecteur à l'enseignement de savoirs sur le modèle.

Les élèves doivent choisir parmi quatre « *modèles quantitatifs* » proposés (1 : $p=k_1.V$; 2 : $p=k_2.V^2$; 3 : $p.V=k_3$; 4 : $p.V^2=k_4$ (k_1, k_2, k_3 et k_4 sont des constantes positives de valeur inconnue)) celui ou ceux qui sont compatibles avec le modèle qualitatif qu'ils ont précédemment construit. Ils disposent pour cela du matériel nécessaire pour effectuer des mesures de volume et de pression de l'air dans une enceinte fermée (seringue, flexible, appareil de mesure de la pression).

Trois aspects de latechniques sont reconnaissables dans cet épisode : un d'entre eux consiste d'abord à éliminer les relations 1 et 2 dans lesquelles la pression et le volume varient dans le même sens, ce qui n'est pas conforme à la relation qualitative déjà établie. Dans un second temps, il s'agit de voir

comment la pression varie selon les relations (3) et (4) pour un volume V puis un volume égal à une fraction ou un multiple de ce volume V : la relation (3) prévoit que la pression va être respectivement multipliée ou divisée du même facteur, alors que la relation (4) prévoit que la multiplication ou la division concerne ce même facteur mais au carré. Cela implique sur le plan expérimental de choisir une valeur quelconque du volume V , d'appuyer sur le piston pour diminuer le volume de sa moitié, et de lire la pression correspondante. La relation (3) est celle qui sera conservée. Mais cette technique n'est pas parvenue à être clairement formulée par les élèves et ne sera pas mise en œuvre :

Elève : « Si je mets le volume au carré / enfin si je prends 5 après je prends 25 / je compare leur pression / enfin / non / après je compare k / je veux dire celle là je mets 5 et je regarde la pression

Professeur : c'est ce qu'on disait tout à l'heure on peut pas mettre au carré donc on peut pas le faire

Elève : ensuite je prends 25 pour le deuxième V ce qui sera V au carré par rapport au premier V

Professeur : 25 cm³ ça ne peut pas être V au carré

Elève : non mais par rapport à 5 25 c'est 5 au carré

Professeur : oui ça c'est sûr / alors ?

Elève : c'est ça que j'ai envie de faire / je veux avoir un V qui soit égal à $V \cdot V$ »

Un consensus s'établit dans la classe autour de la technique consistant à calculer k_3 et k_4 pour plusieurs couples de valeurs mesurées de pression et de volume, et regarder laquelle des grandeurs est sensiblement constante.

Professeur résumant les diverses propositions d'élèves : « ...donc on prend plusieurs valeurs de V et plusieurs valeurs de P et puis on va demander au logiciel de calculer PV et de calculer $P(V$ au carré) et puis on va regarder /alors est-ce que vous pouvez commencer à me donner quelques couples de mesures / attendez, je vais lui demander tout de suite de faire PV et je vais lui dire de faire P fois V / ça c'est pas trop dur il devrait y arriver / puis le vais lui demander de faire PV carré / alors je vais l'appeler PV^2 / il va peut-être bien vouloir / $P \cdot V \cdot V$ / OK je lui demande de calculer ça directement / voilà, donc il attend, il est prêt à calculer ».

Le troisième aspect de la technique consiste à mettre en lien les résultats prévus par les relations entre grandeurs (modèles) avec les valeurs des observables et leurs variations. Cet aspect est particulier dans la mesure où il porte du sens sur la notion de modèle.

Cette technique n'est pas spécifique de l'objet de la physique travaillé dans la classe, mais est bien applicable à toute investigation qui se donne pour objectif de faire passer une relation entre grandeurs physiques du stade qualitatif au stade quantitatif. Elle est justifiée par la mise en œuvre d'une loi de la Physique et sa formulation mathématique (loi de Boyle-Mariotte), par les éléments de nature arithmétiques relatifs à la proportionnalité et par les considérations épistémologiques selon lesquelles, d'une part un modèle est susceptible d'évolution afin d'être en mesure d'expliquer plus précisément ce qui est observé et de rendre compte au plus près des valeurs des observables, et d'autre part la validation d'un modèle passe par une mise en relation entre le modèle et les données empiriques. L'élément arithmétique de la technique semble problématique pour les élèves, bien qu'il soit supposé être naturalisé depuis longtemps chez eux. En revanche, l'élément épistémologique semble aller davantage de soi, vraisemblablement parce que cette technique est naturalisée dans les activités de classe en physique.

Dans cet épisode, et l'extrait présenté précédemment l'illustre, l'enseignant prononce fréquemment le terme de modèle, en les associant aux termes « macroscopique » « qualitatif », « quantitatif », « améliorer ». L'épisode est ainsi marqué par la présence explicite à de nombreuses reprises du terme de modèle, tout en restant dans le domaine de la physique des gaz : le degré d'explicitation associé à l'épisode est e2.

- **Praxéologie didactique de la physique, relative à la loi de Boyle-Mariotte :**

La tâche didactique à laquelle s'emploie l'enseignant est de faire apprendre aux élèves la loi « $PV = \text{constante}$ » et de conduire les élèves à procéder à l'amélioration de la relation qualitative entre pression et volume d'un gaz dans une enceinte fermée, en lui associant une expression mathématique qui permet de savoir comment les deux grandeurs associées varient l'une par rapport à l'autre.

A cette fin, la technique didactique qu'il met en œuvre consiste à définir la tâche en distribuant un document sur lequel cette tâche est explicite, fait référence oralement à cette relation entre la pression et le volume d'un gaz dans une enceinte fermée -qu'il nomme « *modèle qualitatif* »- et que les élèves connaissent (dans une enceinte fermée, la pression augmente quand le volume diminue) ; il propose

plusieurs relations entre les grandeurs pression et volume, et indique qu'il s'agit de sélectionner parmi les formulations proposées dans le document celle qui est conforme au *modèle qualitatif* connu, en leur permettant de disposer du matériel adéquat à la réalisation d'expériences. Il laisse alors les élèves travailler en binôme, et finit par une mise en commun.

Pour faire apprendre aux élèves qu'une relation entre grandeurs physiques est un modèle et qu'il peut évoluer de manière à pouvoir rendre compte plus précisément des données expérimentales, la *technologie didactique* consiste à qualifier ce type de relation de modèle et mettre les élèves en position de choisir entre plusieurs propositions de relations qui leur sont données (par exemple), le choix du modèle étant piloté par l'adéquation entre les résultats donnés par les relations et les données issues des mesures. A cet effet, les élèves doivent disposer du matériel expérimental adéquat pour réaliser des mesures.

Pour faire apprendre un modèle, faire sélectionner parmi plusieurs possibilités de modèles en passant par l'examen de la capacité de ces modèles à rendre compte des données expérimentales, provoquant une plus grande mobilisation des élèves est vraisemblablement plus facile, plus motivant, ou encore plus « efficace » que de le donner directement, ou de le faire construire ex-nihilo, surtout quand le travail des élèves est aussi une manière plus efficace de se familiariser ou bien de renforcer leur familiarité avec des savoirs épistémologiques sur le modèle. Ceci constitue une justification de la technique sans que l'on puisse distinguer vraiment la technologie de la théorie.

8.2. Résultats sur les deux séances observées

Nous nous proposons de présenter ici successivement les praxéologies de chacun des enseignants.

8.2.1. Enseignant A

Les 4 épisodes repérés dans le flux de la pratique relèvent de quatre types de tâche qui renvoient à la notion de modèle : l'utilisation d'un modèle théorique microscopique afin d'interpréter la variation conjuguée de deux grandeurs physiques macroscopiques (épisode 1 et 4), la construction d'un modèle qualitatif (lien qualitatif entre deux grandeurs physiques) (épisode 4), l'amélioration d'un modèle (épisode 3 et 4) et l'analyse épistémologique (épisode 2). Une micro-tâche de quelques minutes et qui relève de l'analyse épistémologique est nichée dans le 4^{ème} épisode. Tous les types de tâche sont directement identifiables car explicites dans le discours de l'enseignant et les documents de travail à disposition des élèves. De plus, les locutions de « *modèle* », d'« *amélioration de modèle* », de « *limite de validité de modèle* », d'« *utilisation du modèle pour interpréter* » ou « *expliquer* », sont utilisées à plusieurs reprises tout au long de la séance. A l'intérieur de chacun des épisodes, les propos de l'enseignant sur la notion de modèle relèvent bien de caractéristiques du modèle qui vont jusqu'à un niveau d'explicitation e3, si bien que l'ensemble des signifiés relatifs à la notion de modèle est lisible par le chercheur mais aussi probablement compréhensible par les élèves.

Cet enseignant, pour faire apprendre des savoirs relatifs au modèle, structure la séance avec des activités diversifiées qui portent sur des savoirs de la physique, et ces derniers constituent autant de modèles auxquels il associe des propriétés (modèle qualitatif, modèle quantitatif, modèle macroscopique, modèle microscopique). Tous les objets de la physique sur lesquels travaillent les élèves durant cette séance sont qualifiés de modèle (lien entre les grandeurs pression et volume du gaz, ou bien pression et température du gaz, modèle microscopique des gaz). Il fait travailler également sur la notion de modèle de la physique par ce qui le caractérise par opposition aux objets physiques en amenant les élèves sur le terrain de l'analyse épistémologique.

Pour cet enseignant, et dans cette séance, il semblerait qu'enseigner ce qu'est un « modèle » passe par l'enseignement de « modèles » de la physique et désigne ces objets dès que l'occasion se présente, pour en souligner certains traits caractéristiques. Il attend des élèves qu'ils se construisent l'idée de modèle à travers ses multiples facettes, que ce soit du point de vue de ses caractéristiques, que du point de vue de la diversité des savoirs de la physique que ce terme recouvre.

8.2.2. Enseignant B

A la différence de la séance de l'enseignant A, celle de l'enseignant B constitue une introduction à la physique des gaz et plus précisément au concept de pression, en prenant appui sur des prérequis récents des élèves en mécanique newtonienne (force et équilibre).

La séance observée dure deux heures et comprend 4 épisodes dont la durée varie de 12 à 41 minutes. L'analyse fait émerger 4 types de tâche qui relèvent toutes de l'activité de la physique : des tâches d'élaboration d'un modèle d'un objet d'étude (épisode 1 et 2), de description d'un modèle « théorique » (épisode 3) et d'utilisation de modèle à des fins d'explication (épisode 4). Cette séance ne contient à aucun moment de travail spécifique à des savoirs épistémologiques (via par exemple une analyse critique sur l'activité scientifique conduite en classe) : l'enseignement du modèle est ici contextualisé à des savoirs de la mécanique.

- L'épisode B/1 (12'41) est identifié comme relevant de la construction du modèle d'une seringue et de l'association de deux seringues identiques dont les embouts sont reliés par un tube flexible, sous l'angle de la mécanique newtonienne (mécanique de l'équilibre). Dans le second cas, cette représentation et la compréhension du système sous l'angle de la première loi de Newton conduit les élèves à la nécessité de faire l'hypothèse d'une nouvelle force, encore non définie, la force de pression. Du point de vue praxéologique, il s'agit d'une tâche de construction d'un modèle d'un objet d'étude (seringue) en tant que représentation de cet objet pris sous un angle théorique particulier (mécanique classique) ;
- Dans l'épisode B/2 (23'21), les élèves représentent la force macroscopique de pression comme une résultante des actions mécaniques à l'échelle microscopique, à l'aide du modèle microscopique des gaz ;
- Au cours de l'épisode B/3 (33'17), l'enseignant énonce et détaille le modèle microscopique des gaz et l'utilise pour expliquer le phénomène observé en classe du mélange spontané de deux gaz initialement séparés par une paroi ;
- Lors de l'épisode B/4 (41'30), l'enseignant définit le concept de pression à l'aide du modèle microscopique des gaz.

Chez cet enseignant, les praxéologies du modèle des épisodes B/1, B/2 et B/4 sont marquées par le fait que les épisodes que nous avons identifiés comme relevant du modèle, ne contiennent pas des tâches explicitement prescrites aux élèves comme relevant du modèle. Dans l'épisode 1 par exemple, ces derniers ont une série de tâches élémentaires à réaliser qui constituent autant de praxéologies sur des objets de savoir de la physique (*représenter la seringue ; dresser un bilan des forces sur la partie mobile de la seringue ; identifier les types de forces qui s'appliquent sur la seringue*) et dont l'ensemble constitue une technique de construction de modèle. Autrement dit, la réalité du modèle dans la classe résulte d'une reconstruction par le chercheur, effectuée à partir d'une succession de tâches élémentaires coutumières réalisées par les élèves, tâches qui devraient relever de la technique de construction du modèle. C'est de manière implicite que les élèves travaillent ici une tâche qui tient de l'élaboration d'un modèle de la seringue, à partir d'éléments de la technique de construction de ce modèle : l'analyse à l'échelle microscopique montre que le terme de modèle n'est pas prononcé en classe tout au long des épisodes B/1, B/2 et B/4 (registre implicite), si ce n'est pour qualifier, dans l'épisode B/4 le modèle théorique qui décrit le comportement des gaz à l'échelle microscopique.

Dans sa conduite de l'étude, l'enseignant présente à l'ensemble des élèves un objet d'étude, la seringue, et énonce une série de consignes (épisode B/1 : « *représentez la seringue* », « *faites moi le bilan des forces* », « *quelles forces ?* », « *Pourquoi est-ce qu'il peut affirmer que les forces se compensent ?* » ; épisode B/2 : *Comment se fait-il que des forces s'expriment comme ça, dans ce sens ? Que font ces molécules quand même ?*) qui, prises dans leur ensemble, constituent un type de tâche relatif à la construction ou à l'utilisation d'un modèle. C'est au niveau des techniques disciplinaires uniquement que l'enseignant intervient dans la conduite de l'étude : ses propos visant à conduire le travail des élèves portent directement sur les techniques qu'ils doivent mettre en œuvre pour réaliser les tâches de construction de modèle ou d'utilisation de modèle et non directement sur ces tâches à réaliser qui, elles, sont plus porteuses de sens relativement au modèle. Cette manière de faire rend la notion de construction de modèle transparente pour les élèves.

En revanche, le terme de modèle apparaît souvent dans l'épisode B/3 où est impliqué le modèle microscopique des gaz. Lors de cet épisode, l'enseignant décrit avec force détails le modèle microscopique des gaz, conformément en cela à la partie du programme où le terme de modèle est cité, à savoir « *utiliser le modèle microscopique des gaz pour expliquer la notion de force de pression* », et conformément aux intentions de l'enseignant (montrer comment à partir du modèle microscopique, on explique la force de pression macroscopique). Il reste qu'à chaque occurrence, le

terme de modèle est toujours associé au reste de la locution (« modèle microscopique du gaz ») (degré d'explicitation e1).

La technique de la praxéologie didactique de l'enseignant relative au modèle consiste ainsi dans l'épisode 3 à juxtaposer la dénomination du concept de modèle à ce qui est fait et dit en relation avec ce concept à propos du modèle microscopique des gaz. Les élèves ont à leur charge de comprendre que le discours de l'enseignant à propos du modèle contribue à caractériser le modèle via ce savoir particulier que constitue le modèle microscopique des gaz. Ils doivent ainsi associer au terme de modèle prononcé par l'enseignante qui est dit en lien avec ce terme et non à propos de ce terme. En conséquence, la formalisation des technologies et théories correspondantes de la praxéologie disciplinaire est à la charge entière de l'élève.

Pour les autres épisodes, la situation est plus complexe encore : ce qui se produit en classe relève de l'activité scientifique. La notion de modèle n'est pas travaillée 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 nécessaires à la réalisation de ces tâches. Tant et si bien que le lien entre ces groupes de techniques et les tâches auxquelles ils répondent est à la charge de l'élève. Modéliser est ainsi une tâche difficile pour un élève parce qu'il doit discerner seul que la pluralité des techniques qu'il est en train de mettre en œuvre a une portée plus générale relative au modèle.

On peut inférer de ces éléments que pour cet enseignant, manipuler des savoirs scientifiques permet de s'approprier seul la nature de ces savoirs, point de vue qui tient lieu d'ensemble technologique et théorique. En effet, pour cet enseignant, apprendre ce qu'est l'objet de savoir « modèle » consiste pour l'élève à examiner ce qui se passe en classe, écouter ce que dit et fait l'enseignant à propos de la physique, en le décontextualisant de la spécificité de chacun des savoirs en jeu. Mais le terme de modèle n'étant jamais prononcé dans la classe, on peut craindre que les élèves ne puissent jamais associer ce qu'ils comprennent de l'activité en jeu à la notion de modèle. Autrement dit, à partir du moment où l'objet « modèle » n'est pas désigné dans la classe par l'enseignant, celui-ci n'est pas enseigné en tant que tel, et il n'est pas envisageable d'inférer une théorie didactique relative à cet objet. Au cours de l'entretien qui suit les analyses, l'enseignant se rend compte après coup que ce qui relève dans la classe de l'utilisation ou de la construction de modèle peut effectivement être désigné comme tel, mais ce n'est pas central dans sa démarche. Il reconnaît qu'il serait sans doute pertinent de le faire, mais il nécessiterait que cela se fasse plus systématiquement à propos d'autres savoirs de la physique au cours de l'année ; or ce n'est selon lui pas précisément prévu dans les programmes, et la place qu'une telle démarche nécessiterait dans l'enseignement de la physique en seconde est difficile à envisager compte tenu d'autres contraintes au premier rang desquelles se situe la prise en compte d'autres objectifs davantage en lien avec les difficultés des élèves.

9. Discussion

Si les deux séances observées portent toutes les deux sur la même partie du programme de la classe de seconde et que les intentions des enseignants portent dans les deux cas sur l'enseignement de savoirs relatifs au modèle, cette étude révèle des situations bien différentes.

Nous avons observé dans les deux séances plusieurs praxéologies disciplinaires du « modèle » : des praxéologies liées à la construction d'un modèle de l'objet étudié, d'utilisation d'un tel modèle à des fins d'explication de phénomènes, ou d'utilisation du modèle microscopique des gaz pour interpréter un modèle macroscopique. Conformément à ce à quoi nous pouvions nous attendre, elles prennent forme principalement à travers des savoirs de la physique. Enseigner des savoirs de la physique est ce qui s'impose prioritairement aux enseignants, même s'ils se donnent pour objectif d'enseigner des savoirs sur le modèle. Ainsi, la manière qu'a l'enseignant de donner corps à des savoirs de la physique (praxéologies didactiques de la physique) en classe constitue le contexte principal dans lequel les élèves peuvent construire du sens sur la notion de modèle.

Cela dit, ces praxéologies de la physique en lien avec le modèle ne sont pas de même nature dans les deux cas : chez l'enseignant A, elles sont associées à des praxéologies didactiques du modèle, qui rendent explicites les tâches et techniques relatives au modèle et qui relèvent d'une pratique de

l'épistémologie dans laquelle on s'intéresse à la nature des savoirs de la physique²⁰. En revanche, la praxéologie didactique du modèle chez l'enseignant B, dont on suppose l'existence en raison de son intention d'enseigner de tels savoirs, ne rend en rien explicite les éléments précédents aux élèves: nous doutons qu'ils prennent à leur charge de construire l'épistémologie du modèle qui sous-tend les tâches qu'il réalise sur les objets de savoir de la physique dans la mesure où, à la fois, il n'est pas nécessaire qu'ils le fassent pour réaliser une tâche particulière et parce qu'il n'existe pas dans la classe un espace propice à ce travail (c'est l'enseignant qui, à travers ses propos et la trace écrite au tableau, exerce presque totalement la responsabilité dans l'avancée des savoirs dans la classe).

Nous pouvons interpréter de telles différences entre les deux pratiques observées à la lumière des effets d'assujettissement des deux enseignants à des institutions différentes dans lesquelles les rapports au modèle et à son enseignement sont bien différents. L'enseignant A travaille depuis longtemps dans une équipe constituée de chercheurs et d'enseignants au sein de laquelle la question de la place du modèle dans l'enseignement de la physique est très importante, et qui développe à cette fin des dispositifs didactiques spécifiques. Ceci permet de comprendre du même coup que le modèle occupe une place considérable dans sa pratique (il en parle de manière très fréquente aux élèves et consacre en début d'année une séance spécifique à cette question) et qu'il engage les élèves dans des tâches proprement épistémologiques, tout en s'assurant que cette démarche soit d'une portée mesurée, tant par ses objectifs (placer les savoirs travaillés dans les 2 ensembles de la théorie spécifique des deux mondes) que par le temps que cela exige. Notamment, le modèle épistémologique spécifique de la théorie des deux mondes est le produit d'un travail de transposition d'un modèle épistémologique plus complexe aux spécificités des savoirs de la physique du lycée (Tiberghien, Vince & Gaidioz, 2009). L'enseignant B quant à lui s'est engagé seul dans ce travail sur l'enseignement de savoirs sur le modèle. La séance observée est une des deux seules dans l'année qui soit marquée par cette intention²¹, ce qui nous laisse penser que son rapport à l'objet modèle est conforme minima à ce que le programme désigne comme tel, c'est à dire le modèle microscopique des gaz. Ainsi cet enseignant considère important de faire comprendre aux élèves ce qu'est un modèle, mais cette connaissance paraît cumulative par rapport aux autres savoirs de la physique et ne semble pas contribuer à faciliter leur étude. Il nous semble que ce dernier cas est représentatif de la plupart des rapports des enseignants de physique au modèle en raison de ces effets d'assujettissements.

Bien que ce travail demande à être poursuivi par l'étude des savoirs épistémologiques chez les élèves pour appréhender toute la didactique du concept de modèle, ce travail nous conduit à penser qu'en l'absence très probable de praxéologies didactiques du modèle dans les pratiques les plus répandues, une praxéologie didactique de la physique ne peut contribuer à rendre l'objet de savoir « modèle » perceptible par les élèves qu'à la condition minimale que ce dernier soit désigné lorsque l'occasion se présente, ou tout au moins que le type de tâche à réaliser par les élèves sur divers objets de savoir de la physique leur permette de donner progressivement du sens à la notion de modèle. Cela peut passer, par exemple, comme nous l'avons observé, par un enseignement de la physique qui s'appuie sur des types de tâche récurrents comme la construction de modèles ou l'utilisation de modèles à des fins d'explication ou de prévision par exemple, mais accompagnés d'une désignation, puis d'une réutilisation éventuelle, permettant ainsi aux élèves d'associer leur action sur les savoirs de la physique à des caractéristiques du modèle.

Notre étude des pratiques enseignantes via les praxéologies n'explore qu'un des aspects de la nature de la science que constitue la place et la nature du modèle. Nous ne pouvons pas directement rapprocher nos résultats de ceux qui sont issus des recherches auxquelles nous nous sommes référés en raison des différences de nature des questions et des approches utilisées. Cependant, le modèle constituant un des aspects fondamentaux de la nature de la science, ce que nous avons observé apporte un éclairage supplémentaire à ce domaine de recherches. Notamment, se tenir à des recherches qui ne convoquent que les aspects déclaratifs des enseignants n'auraient pas permis selon nous d'observer, dans le cas de l'enseignant B, l'absence dans la classe du terme de modèle alors que les élèves étaient en train d'en construire ou d'en utiliser à plusieurs reprises durant la séance. Ainsi, ne pas avoir observé les pratiques in situ ne constituerait-il pas un élément d'explication des résultats de Lederman

²⁰ Les tâches et techniques didactiques ne rendent toutefois pas explicite la technologie épistémologique, c'est à dire la posture réflexive nécessaire à la construction des savoirs épistémologiques.

²¹ La seconde séance au cours de laquelle l'enseignant déclare parler de modèle en classe, porte sur le modèle de l'atome.

(1992) selon lesquels il n'y a pas de relation nécessaire entre les points de vue des enseignants sur la nature de la science et les points de vue des élèves ?

D'autre part, nos conclusions semblent converger avec celles de Ryder et Leach (2008) dans la mesure où, précisent-ils, « *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 ait influencé fortement les enseignants à faire de l'épistémologie un aspect important de leur discours en classe* ».

Dans ce sens, on pourrait s'attendre à ce que l'introduction de la démarche d'investigation au collège (2008) ou son prolongement (démarche scientifique) au lycée (2010) constituent des conditions propices à l'apparition et au développement de nouvelles praxéologies de la physique, autrement dit participent à créer un contexte favorable à faire évoluer les points de vue des élèves sur le modèle et plus généralement sur la nature de la science. Mais cela ne semble pas suffire : une étude conduite au Liban (Yacoubian et BouJaoude, 2010) montre que les points de vue des élèves sur la nature de la science évoluent de manière significative quand l'enseignement passe par un travail de réflexion et d'explicitation sur les investigations conduites en classe, ce que ne permet pas une investigation qui reste dans l'implicite du point de vue de la nature de la science. Or, on peut noter en l'occurrence que le terme de modèle est totalement absent de toute la partie introductive du programme du collège en France qui précise les attendus en matière de démarche d'investigation. On peut donc se demander si les praxéologies didactiques de la physique que constituent les démarches d'investigation contribuent à elles seules à donner une place et une identité au modèle dans des séances au cours desquelles le terme de modèle n'est pas prononcé, surtout si, à l'image de l'enseignant B, le rapport personnel des enseignants au modèle est conforme à ce que les programmes explicitent à ce sujet.

Références

- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665-701.
- American Association for the Advancement of Science (1993). *Benchmarks for science literacy: A Project 2061 report*. New York: Oxford University Press.
- Bachelard S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. In P. Delattre P. et M. Thellier M. (Eds.), *Elaboration et justification des modèles*. Maloine Editeur.
- Bell, R.L. (2009) Teaching the Nature of Science : three critical questions. *Best practices in Science Education*, NGSP.com.
http://www.ngspscience.com/profdev/Monographs/SCL22-0449A_SCI_AM_Bell_lores.pdf
- 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.
- 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 S. Maury & M. Caillot (Eds.), *Rapport au savoir et didactiques*. Paris : Fabert.
- Bunge, M., (Ed) (2001), *La science, sa méthode et sa philosophie*, Paris : Vigdor.
- Buty, C., Tiberghien, A., & Le Maréchal, J.-F. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26, 579-604.
- Chevallard, Y. (1988). Esquisse d'une théorie formelle du didactique. In C. Laborde (Ed.), *Actes du Premier colloque franco-allemand de didactique des mathématiques et de l'informatique* (pp. 97-106). Grenoble : La Pensée sauvage.
- Chevallard Y. (1989). *Le concept de rapport au savoir. Rapport personnel, rapport institutionnel, rapport officiel*. Séminaire de didactique des mathématiques et de l'informatique. Université Joseph-Fourier-Grenoble 1, document interne, n° 108, pp. 211-235.

- Chevallard, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 12 (1), 73-111. Grenoble : Pensées 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*, 19(2), 221-265. Grenoble : la Pensée Sauvage.
- Chevallard, Y. (2003). Approche anthropologique du rapport au savoir et didactique des mathématiques. In S. Maury & M. Caillot (Eds.), *Rapport au savoir et didactiques* (pp. 81-104), Paris : Fabert.
- De Hosson, C., & Décamp N. (2014). Using ancient Chinese and Greek astronomical data : a training sequence in elementary astronomy for pre-service primary school teachers. *Science and Education*, 23(4), 809-827.
- Désautels, J. & Larochelle, M., (Ed) (1989), *Qu'est-ce que le savoir scientifique ? Points de vue d'adolescents et d'adolescentes*. Québec : Presses de l'Université Laval.
- Dogan, N. & Abd-El-Khalick, F. (2008). Turkish grade 10 students' and science teachers' conceptions of nature of science: A national study. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(10), 1083-1112.
- 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.
- Eurydice (2006). *L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe : état des lieux des politiques et de la recherche*. Rapport du réseau Eurydice de l'Agence Exécutive Education, Audiovisuel et Culture de la Communauté Européenne : Bruxelles. http://www.indire.it/lucabas/lkmw_file/eurydice//Science_teaching_FR.pdf
- Eurydice (2011). *L'enseignement des sciences en Europe : politiques nationales, pratiques et recherche*, Rapport du réseau Eurydice de l'Agence Exécutive Education, Audiovisuel et Culture de la Communauté Européenne : Bruxelles. http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice/documents/thematic_reports/133FR.pdf
- 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.
- Givry, D. (2003). *Étude de l'évolution des idées des élèves de seconde durant une séquence d'enseignement sur les gaz*. Thèse de Doctorat, Université Lumière Lyon 2, Lyon.
- Givry, D., & Tiberghien, A. (2012). Studying Students' Learning Processes Used during Physics Teaching Sequence about Gas with Networks of Ideas and Their Domain of Applicability. *International Journal of Science Education*, 34(2), 223-249. <http://doi.org/10.1080/09500693.2011.566289>
- Guilbert, L., & Meloche, D. (1993). L'idée de science chez les enseignants en formation : un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions ? *Didaskalia*, 2, 7-30.
- Halbwachs, F., (Ed) (1969), *La pensée physique chez l'enfant et le savant*, Paris : Delachaux et Niestlé.
- Hodson, D. (2014). Learning science, learning about science, doing science : different goals demand different learning methods, *International Journal of Science Education*, 36 (15), 2534 - 2553.
- Joshua, S. & Dupin, J.-J., (Ed) (2003), *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, Paris : PUF, coll. Quadriges.
- Lakin & Wellington (1994). Who will teach the 'nature of science'? : teachers' views of science and their implications for science education, *International Journal of Science Education*, 16(2), 75-190.

- Lecourt, D. (2000). L'enseignement de la philosophie des sciences. Rapport au Ministre de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/004000243/>
- 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 L. Flick & N. Lederman (Eds.), *Scientific Inquiry and Nature of Science* (pp. 301-317). The Netherlands : Kluwer Academic Publishers.
- Maurines, L. & Beaufils, D. (2011). Un enjeu de l'histoire des sciences dans l'enseignement : l'image de la nature des sciences et de l'activité scientifique, *Recherche en Didactique des Sciences et des Technologies*, 3, 271-305.
- Maurines, L., Gallezot, M., Ramage, M.-J. & Beaufils D. (2013). La nature des sciences dans les programmes de seconde de physique-chimie et de science de la vie et de la terre, *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 7, 19-52.
- MEN²² (1999). Programmes de physique – chimie en classe de seconde générale et technologique. Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale spécial n°6 du 12 août 1999.
- MEN (2001). Programmes de physique – chimie en classe de seconde générale et technologique. Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale Hors Série du 30 août 2001.
- MEN (2010). Programme de physique - chimie en classe de seconde générale et technologique. Bulletin officiel spécial n° 4 du 29 avril 2010
- 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* (pp. 283-295). London : Falmer Press.
- Pélissier L., Venturini P. & Calmettes B. (2007). L'épistémologie souhaitable et l'épistémologie implicite dans l'enseignement de la physique. De l'étude sur l'enseignement de la seconde à la démarche d'investigation au collège. *Actes des troisièmes journées ReForEHST* [Recherche et formation en épistémologie et histoire des sciences et des techniques], Caen. Premier cahier, p. 8-13. url : <http://plates-formes.iufm.fr/ehst/IMG/pdf/Journee_ReForEHST-31mai.pdf>.
- 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* (pp. 127-150). Paris: L'Harmattan.
- Porlan Ariza, R., Garcia Garcia, E., Rivero Garcia, A., Martin del Pozo, R. (1998). Les obstacles à la formation professionnelle des professeurs en rapport avec leurs idées sur la science, l'enseignement et l'apprentissage. *Aster*, 26, 207-235.
- 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.
- Robardet, G., & Vérin, A. (1998). L'enseignement scientifique vu par les enseignants. *Didaskalia*, 1, 55.
- Roletto, E. (1998). La science et les connaissances scientifiques. *Aster*, 26, 11-30.
- 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), 289-315.
- Schubauer-Leoni & Ntamakiliro (1994). La construction de réponses à des problèmes impossibles. *Revue des Sciences de l'Éducation*, 20(1), 87-113.

²²Ministère de l'Éducation Nationale

- Soler, L.,(Ed.) (2000),*Introduction à l'épistémologie*, Paris :Ellipses.
- Tiberghien, A. (1994).Modeling as a basisforanalyzingteaching - learningsituations. *Learning and Instruction*, 4, 71-87.
- Tiberghien, A., Malkoun, L., Buty, C., Souassy, N., &Mortimer, E. (2007). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différenteséchelles de temps. In G. Sensevy & A. Mercier (Eds.), *Agirensemble :Eléments de théorisation de l'actionconjointe du professeur et des élèves* (pp. 93-122). Rennes: PUR.
- Tiberghien, A., Vince, J., &Gaidioz, P. (2009). Design-basedResearch : Case of a teachingsequenceonmechanics. *International Journal of ScienceEducation*, 31(17), 2275-2314. <http://doi.org/10.1080/09500690902874894>
- Tobin, K., &McRobbie, C. J. (1997). Beliefsaboutthenature of science and theenactedcurriculum.*Science and Education*, 6(4), 335-371.
- Tsai, C-C. (2002). Nestedepistemologies: Scienceteachers' beliefs of teaching, learning and science. *International Journal of ScienceEducation*, 24(8), 771-783.
- Venturini, P., & Albe, V. (2002). Interprétation des similitudes et différencesdans la maîtriseconceptuellel'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 physiqued'étudiantsissusd'un DEUG Sciences de la matière. *Dossiers des sciences de l'éducation*, 8, 11-22.
- Venturini, P., Calmettes, B., Amade-Escot, C., &Terrisse, A. (2007). Analysedidactique des pratiquesd'enseignement de la physiqued'uneprofesseurexpérimentée. *Aster*, 45, 211-234.
- Waters-Adams, S. (2006). TheRelationshipbetweenUnderstanding of theNature of Science andPractice :Theinfluence of teachers' beliefsabouteducation, teaching and learning. *International Journal of ScienceEducation*, 28(8), 919-944.
- Yacoubian, H. A. &S. Boujaoude, S. (2010).Theeffect of reflectivediscussionsfollowinginquiry-basedlaboratoryactivitiesonstudents' views of nature of science :*Journal of Research in ScienceTeaching* 47(10), 1229-1252.
- Zeidler, D. L.&Lederman, N. G. (1989). Theeffects of teachers' languageonstudents' conceptions of thenature of science. *Journal of Research of ScienceTeaching*, 26(9), 771-783.