

La didactique des sciences physiques dans la formation des professeurs vue à travers l'analyse de leurs mémoires professionnels

Physical science in teacher education as reflected in the professional « mémoire » (dissertation)

Guy ROBARDET

LIDSE, Université Joseph Fourier-Grenoble 1
Batiment C de physique, BP 53
38041 Grenoble cedex 9, France.

Résumé

Cette recherche vise à saisir la nature des rapports personnels des futurs professeurs des lycées et collèges de sciences physiques à la didactique de leur discipline. Elle se propose de savoir dans quelle mesure ces rapports sont influencés par des particularités et des choix institutionnels, notamment en matière de modèle de formation et, en particulier, par la place faite à la didactique des sciences dans les différents dispositifs de formation disciplinaire auxquels sont soumis ces futurs professeurs. Une de nos hypothèses de recherche est que le mémoire professionnel constitue un objet d'étude particulièrement intéressant dans la mesure où celui-ci, généralement réalisé par le professeur stagiaire sous la direction d'un formateur, pourrait bien apparaître comme un puissant révélateur du contrat qui lie les formés à leur institut dans le cadre de la formation disciplinaire. Le principal résultat de cette étude, qui porte sur 42 mémoires de sciences physiques issus de quatre instituts universitaires de formation des maîtres (IUFM) aux profils différents, est la confirmation de l'importance des effets institutionnels au sein de la formation disciplinaire.

Mots clés : *mémoire professionnel, didactique des sciences physiques, modèle de formation, effets institutionnels, contrat.*

Abstract

This research aims at describing the professional relationship between physical science teachers in training at the lower and upper secondary levels and the didactic and pedagogical dimension of their discipline. It examines the impact of the institution on this relationship with regard to models of training and particularly the place given to the pedagogical and didactic dimensions in the curriculum. One of the research hypotheses is that the professional dissertation, or « mémoire », is a good indicator of the contract linking the trainees and their institute, as it is generally written up by students in collaboration with a teacher educator. One of the striking results of this study conducted on 42 dissertations in physical science from 4 different IUFM, is the confirmation of the importance of institutional effects on the disciplinary studies

Key words : *professional dissertation (or « mémoire »), Didactics of Physical science, training models, institutional effects, contract.*

Resumen

Esta investigación busca comprender la naturaleza de los reportes personales de los futuros profesores de liceos y colegios (en Francia) de ciencias físicas a la didáctica de su disciplina : la investigación se propone saber en que medida estas relaciones son influenciadas por particularidades y selecciones institucionales, netamente en materia de modelo de formación y, en particular, por el puesto que ocupa la didáctica de las ciencias en los diferentes dispositivos de formación disciplinaria a los cuales son sometidos estos futuros profesores. Una de nuestras hipótesis de investigación es que el reporte profesional constituye un objeto de estudio particularmente interesante en la medida que este sea realizado bajo la supervisión de un docente experto, este podría aparecer como un potente revelador del contrato que una las formas a su instituto en el cuadro de su formación disciplinaria. El principal resultado de este estudio, que se realizó sobre una muestra de 42 reportes de memorias de ciencias físicas provenientes de cuatro institutos universitarios de formación de maestros (IUFM) con perfiles diferentes en el seno de su formación.

Palabras claves : *reporte profesional, didáctica de las ciencias físicas, modelo de formación, efectos institucionales, contrato.*

1. INTRODUCTION

Le travail que nous présentons ci-dessous s'inscrit dans le cadre d'une recherche plus générale concernant la formation que les futurs professeurs de sciences physiques reçoivent, en France, dans les Instituts Universitaires de Formation des Maîtres (IUFM) (Robardet, 1995). Nous avons essayé de saisir la nature des rapports personnels des futurs enseignants à la didactique des sciences physiques et de voir dans quelle mesure ces rapports sont influencés par des particularités institutionnelles et notamment par la place faite à la didactique des sciences dans la formation de ces futurs professeurs. Nous nous sommes intéressés en particulier à l'étude de la nature et de la résistance des obstacles que peut rencontrer, ici ou là, la didactique des sciences pour trouver sa place dans cette formation. À cette fin, nous avons essayé de savoir si ces obstacles apparaissaient principalement au niveau des individus ou si, au contraire, ils s'enracinaient dans des habitudes institutionnelles.

2. QUESTIONS SOUMISES À LA RECHERCHE

La formation des professeurs des lycées et collèges donne lieu, en France, à l'élaboration et à la soutenance devant un jury d'un mémoire d'une trentaine de pages s'appuyant sur l'analyse des pratiques professionnelles rencontrées ou mises en oeuvre, en particulier lors des stages effectués en classe tout au long de la deuxième année de formation. Selon les textes officiels qui instituent ce mémoire, celui-ci « *doit permettre de vérifier les capacités du professeur stagiaire à identifier un problème ou une question concernant ces pratiques (et à) analyser ce problème et proposer des pistes de réflexion ou d'action en se référant aux travaux existant dans ce domaine* » (Circulaire n° 91-202 du 2 juillet 1991).

Une de nos hypothèses de recherche est que ce mémoire professionnel constitue un objet d'étude particulièrement intéressant dans la mesure où celui-ci, généralement réalisé par le professeur stagiaire sous la direction d'un ou plusieurs formateurs, pourrait bien apparaître comme un puissant révélateur du contrat qui lie les formés à leur institut dans le cadre de la formation disciplinaire. Il pourrait donc témoigner des particularités institutionnelles des dispositifs de formation et notamment des rapports institutionnels à la didactique des sciences.

Notre travail s'est principalement orienté autour des deux questions qui suivent.

Voit-on se profiler différents types de mémoires et, dans l'affirmative, les catégories de mémoires se différencient-elles ou non par leur rapport à la didactique des sciences ?

Dans quelle mesure ces différents types de mémoires sont-ils ou non influencés par les particularités institutionnelles ?

Pour constituer notre terrain d'étude, nous avons recherché des IUFM dont les plans de formations font apparaître des rapports institutionnels différents à la didactique. Après étude des textes institutionnels et des informations que nous avons recueillies auprès des responsables de formation, nous avons choisi les instituts de Besançon, Grenoble, Marseille et Reims. Par la suite, afin de ménager leur anonymat, nous les désignerons par les lettres A, B, C et D.

Le travail que nous présentons ici porte sur 42 mémoires sélectionnés à notre intention par les responsables des formations en sciences physiques de ces quatre instituts et jugés par eux comme représentatifs de l'ensemble des mémoires réalisés durant les années 1992-93 et 1993-94.

3. DESCRIPTION SOMMAIRE DES DISPOSITIFS DE FORMATION, EN SCIENCES PHYSIQUES, DANS LES IUFM CHOISIS

Les mémoires dépendent très probablement des moyens et des conditions qui président dans les IUFM à leur fabrication. On peut, en effet, raisonnablement faire l'hypothèse que selon l'importance qui est consacrée à ce travail dans l'année, selon la forme que prend celui-ci, selon le type d'encadrement, selon la formation des directeurs de mémoire et selon les caractéristiques institutionnelles des formations théoriques et pratiques données, nous ne rencontrerons pas partout le même produit.

L'analyse des documents en provenance des quatre IUFM et l'étude des entretiens que nous avons menés avec les responsables de formation disciplinaires de ces établissements nous ont permis de caractériser les différents dispositifs de formation. Nous avons conduit cette étude en nous référant à des descripteurs dont les principaux sont les suivants :

– pourcentage de l'horaire de formation disciplinaire accordé à la didactique,

– pourcentage de l'horaire de formation disciplinaire accordé à l'épistémologie,

- pourcentage de l'horaire de travail collectif sur le mémoire effectué sous la conduite d'un chercheur en didactique,
- pourcentage des mémoires réalisés sous la direction d'un chercheur en didactique.

Le tableau 1 ci-dessous indique les valeurs prises par ces descripteurs.

	IUFM-A	IUFM-B	IUFM-C	IUFM-D
% horaire en didactique	60	34	16	20
% horaire en épistémologie	15	0	0	0
% horaire de travail collectif sur les mémoires avec un chercheur en didactique	30	5	1	1,5
% des mémoires suivis par un chercheur en didactique	100	27	8	0

Tableau 1 : **Comparaison des principaux descripteurs institutionnels**

Avec une formation scientifique réalisée de manière intégrée par une équipe de formateurs chercheurs en didactique (ou de formateurs ayant une culture didactique) et comprenant 75 % de didactique et d'épistémologie des sciences expérimentales, et avec un dispositif d'encadrement des mémoires professionnels entièrement constitué par des chercheurs en didactique, le dispositif de l'IUFM-A semble disposer d'une spécificité « *didactique* » forte. Dans ces conditions, on peut s'attendre, ici plus qu'ailleurs, à ce que les éventuels effets institutionnels jouent au maximum en faveur de la didactique.

L'IUFM-B consacre 34 % de son temps de formation en sciences physiques à la didactique. Il n'y a pas d'enseignement d'épistémologie. Plus de la moitié des formateurs sont des chercheurs en didactique ou ont une culture didactique et ils fonctionnent de manière relativement individuelle. Cependant, les didacticiens ne disposent que de 5 % du temps de formation disciplinaire pour faire un travail collectif sur le mémoire et n'en encadrent qu'un peu plus du quart (27 %).

À l'IUFM-C, la formation en sciences physiques est mise en oeuvre de manière éclatée par douze formateurs qui fonctionnent plutôt de manière individuelle et dont quatre seulement ont une culture didactique. Elle accorde 16 % du temps de formation disciplinaire à la didactique et rien à l'épistémologie. Très peu de moyens (1 % du temps) sont donnés à la didactique pour le travail sur les mémoires professionnels qui sont presque tous suivis par des non didacticiens. L'IUFM-C accorde, en revanche, une

place prépondérante à des travaux de construction et d'analyse de séquences d'enseignement qui, en physique, sont effectués sous la conduite de professeurs du second degré qualifiés de « *chevronnés* ».

Enfin, à l'IUFM-D, une faible partie de l'horaire de formation (20 %) se situe dans le cadre de la didactique, aucune ne concerne l'épistémologie des sciences. Très peu de place est faite à la didactique dans le travail sur le mémoire professionnel. Néanmoins, plus de la moitié des formateurs ont une culture didactique. Le dispositif de l'IUFM-D se caractérise donc par une petite équipe de formateurs en pédagogie et didactique relativement homogène et ouverte aux questions de didactique mais ne disposant que de peu de moyens dans ce domaine. En revanche, 45 % du temps de formation sont assurés par une majorité de formateurs non didacticiens fonctionnant individuellement. Ici aussi, la formation est réalisée de manière éclatée.

Nous avons donc pensé qu'il nous serait possible d'observer ou plus simplement d'approcher d'éventuels « *effets institutionnels* » par l'étude de mémoires professionnels en provenance de ces quatre instituts dont les dispositifs témoignent de spécificités importantes.

4. ANALYSE DES DIFFÉRENTS PROFILS DE MÉMOIRES

L'hypothèse de départ est que, dans chaque institut, les mémoires professionnels peuvent témoigner de la nature des rapports institutionnels

– aux savoirs théoriques susceptibles d'intervenir dans la formation des enseignants (didactique, épistémologie, psychologie, sciences de l'éducation etc.),

– aux savoirs pratiques issus du terrain de l'enseignement.

Leur étude peut s'avérer un moyen de contribuer à la caractérisation de tels rapports. La question consiste à savoir si, selon les instituts, les mémoires se différencient ou non dans leurs rapports à la théorie et à la pratique et dans quelle mesure les catégories de mémoires recouvrent, ou non, des particularités ou des influences institutionnelles différentes.

Mais comment apprécier un rapport à la théorie ou à la pratique ?

Suffit-il, par exemple, que l'on rencontre très localement une allusion à un concept ou à un savoir relevant de la didactique des sciences pour classer le mémoire dans la catégorie « didactique » ou bien, à l'opposé, ne faut-il retenir dans cette catégorie que les mémoires dont le sujet est traité dans le cadre de la didactique des sciences ?

Suffit-il que le professeur stagiaire ait conduit son expérimentation et ses observations dans le cadre de son propre enseignement, pour qu'on y voie un fort ancrage dans la pratique, ce qui conduirait à nier tout lien avec la pratique dans le cas de l'étude d'une question professionnelle s'appuyant sur un recueil de données n'impliquant ni la classe ni les élèves du stagiaire ?

La prise en compte de cette difficulté nous a conduits à envisager une étude des mémoires dépassant la simple catégorisation. De fait, il ne s'agit pas simplement de savoir s'il existe ou non dans un mémoire un rapport à la théorie ou un rapport à la pratique, encore faut-il apprécier, estimer, tenter d'évaluer ces rapports. Nous avons décidé d'interroger chaque mémoire au moyen des questions suivantes.

Est-il fait appel dans le texte du mémoire à des éléments théoriques ? Quelle en est l'importance ? Ces appels sont-ils occasionnels, ou au contraire interviennent-ils à plusieurs reprises tout au long du mémoire, dans l'exposé du sujet et dans les analyses ? Quelle est la nature de ces éléments ? Sont-ils de nature didactique ? Font-ils appel à des éléments théoriques auxquels la didactique se réfère (épistémologiques, psychosocio-cognitifs etc.) ? Aperçoit-on d'autres éléments théoriques ?

Quelle est la nature et quelle est l'importance de la référence à la pratique professionnelle ? Est-il fait appel à l'expérience, au vécu, au témoignage professionnels ? À des observations effectuées sur le terrain ? Le mémoire fait-il référence au stage en responsabilité ou à d'autres expériences de pratiques enseignantes ?

Une analyse théorique, effectuée *a priori*, nous a conduits à retenir deux éléments essentiels pour caractériser un mémoire professionnel : **l'objet d'étude et la méthodologie mise en œuvre.**

L'objet d'étude peut être, selon les cas :

- l'analyse de la pratique habituelle d'un enseignant (PRA),
- l'étude d'un projet d'enseignement (PRO),
- l'analyse d'un phénomène d'enseignement-apprentissage (PEA).

La méthodologie mise en œuvre dans le mémoire peut s'apparenter *a priori* à :

- un témoignage sur une pratique sans analyse critique de données (T),
- une enquête avec recueil de données et traitement de ces données en vue de connaître l'impact d'un phénomène sur la population étudiée (E),

– une démarche de recherche (R), avec formulation d'un questionnement inséré dans une problématique, ce qui suppose une certaine précision du cadre théorique retenu, une anticipation des réponses possibles, une confrontation des résultats obtenus aux anticipations effectuées et une conclusion en relation avec la problématique de départ.

Par souci d'évaluer aussi précisément que possible les rapports à la théorie et à la pratique, nous avons procédé successivement à deux types de recueils de données que nous avons analysés séparément. Dans un premier temps, nous avons cherché, par une étude qualitative critériée, à caractériser chaque mémoire. Dans un deuxième temps, nous avons procédé à une étude quantitative qui nous a permis de mieux préciser, pour chaque mémoire, la nature, l'importance et la fréquence des références à la théorie et à la pratique.

5. ANALYSE QUALITATIVE CRITIÉE DES MÉMOIRES

Nous avons réalisé cette étude comparative qualitative des mémoires au moyen de la grille donnée en annexe. Pour construire cette grille nous nous sommes fortement inspirés de l'ingénierie didactique (Artigue, 1988). Nous avons pour cela retenu trois catégories de critères. En premier lieu, nous nous sommes attachés à caractériser le *sujet* du mémoire (critères 2 à 5). Nous nous sommes ensuite intéressés à repérer la nature des *approches théoriques* utilisées par l'auteur du mémoire (critères 6 à 9). Enfin nous avons cherché à identifier la *démarche mise en œuvre* par l'auteur du mémoire pour argumenter son propos (critères 10 à 12).

Pour interpréter les résultats du dépouillement des mémoires nous avons utilisé des analyses factorielles de correspondances (AFC). Cette méthode d'analyse multiple, tout à fait courante, est particulièrement bien adaptée au traitement des variables modales. (À la différence d'une variable numérique à laquelle correspond un nombre, une variable modale est caractérisée par des modalités discrètes. Exemple : à la variable « sexe » correspondent les deux modalités « masculin » et « féminin »). Le résultat d'une AFC se présente sous la forme d'une carte comportant deux axes rectangulaires, dans le plan desquels sont positionnées les modalités des critères traitées (figure 1). Celles-ci sont représentées par des cercles dont la surface est proportionnelle au nombre des réponses correspondantes. De plus, les modalités proches de la moyenne sont voisines du centre de la figure (exemple M2). Enfin, les proximités entre modalités donnent une idée immédiate des attirances (exemples M1, M2 et M'2) et des répulsions (exemples M1 et M3) entre modalités. Des pourcentages portés sur chaque axe indiquent le taux de la variance expliquée par chacun d'eux.

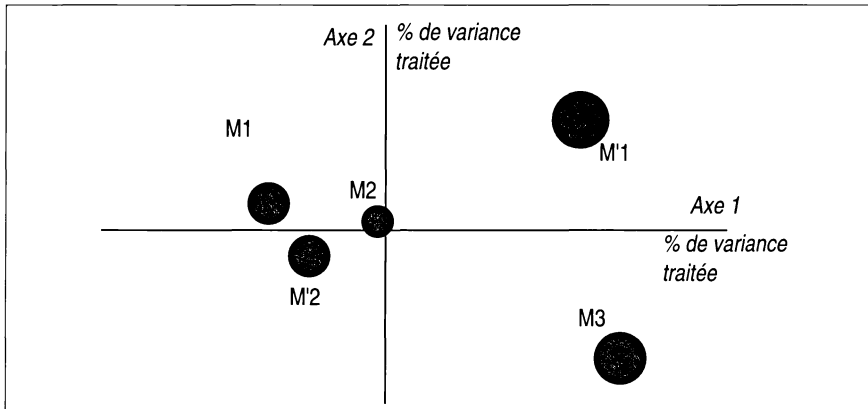


Figure 1 : Carte représentant le résultat d'une AFC

Pour chacune des trois catégories de critères, nous avons effectué un analyse factorielle de correspondances. La première est relative au *sujet*, la seconde, à l'*approche théorique* et la troisième concerne la *démarche mise en œuvre*. Le but de ces AFC est d'observer les corrélations susceptibles d'apparaître entre les modalités concernées et les quatre IUFM représentés par les modalités de la variable « *population* » (critère 1).

Afin d'obtenir un niveau suffisant d'explication de la variance totale, nous avons dû étudier chaque AFC au moyen de deux cartes, la première constituée par les deux axes 1 et 2 et la seconde par les axes 1 et 3. Par souci de simplicité, nous examinerons ci-dessous les résultats de ces analyses en nous reportant aux seules cartes constituées par les axes 1 et 2.

5.1. AFC relative au sujet

Cette analyse a été effectuée sur les 20 modalités des critères 1 à 5, à savoir : **population, sujet, justification du choix du sujet, ce sur quoi porte l'étude et objectifs du mémoire**. Les résultats sont donnés ci-dessous (figure 2). Les indications portées en face des modalités résument les items de la grille donnée en annexe.

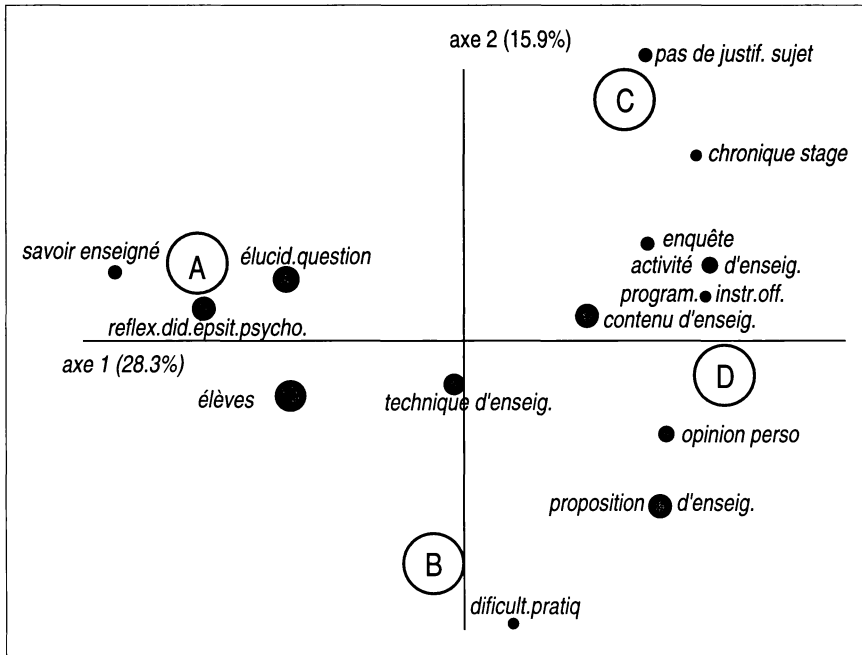


Figure 2 : AFC relative au sujet

On constate que 44.2 % de la variance est expliquée par les axes 1 et 2, (56.1 % par les trois axes). On remarque la grande dispersion des quatre IUFM dans cet espace, ce qui semble indiquer qu'ils présentent chacun des spécificités importantes en termes de types de mémoires, des sujets traités et des objets sur lesquels portent les mémoires.

Les sujets des mémoires de l'IUFM-A semblent caractérisés par l'*élucidation d'une question* d'enseignement-apprentissage portant sur un *savoir enseigné* justifiée par une *réflexion didactique, épistémologique ou psychologique* et concernent généralement les *élèves*. À l'IUFM-B, les sujets concernent également les *élèves* mais ont plutôt pour objectif l'*analyse d'une difficulté liée à une pratique d'enseignement* ou à l'apprentissage des élèves. Ceux de l'IUFM-D et de l'IUFM-C concernent davantage des *activités d'enseignement* en relation avec les *programmes et instructions officielles* et portent plutôt sur des *contenus d'enseignement*. On trouve davantage de *propositions d'enseignement* à l'IUFM-D et à l'IUFM-B qu'à l'IUFM-C et surtout qu'à l'IUFM-A.

5.2. AFC relative à l'approche théorique

Cette AFC a été effectuée sur les 23 modalités des 5 critères : **population, forme des références, nature des références bibliographiques, nature de l'analyse théorique, type d'analyse préalable.**

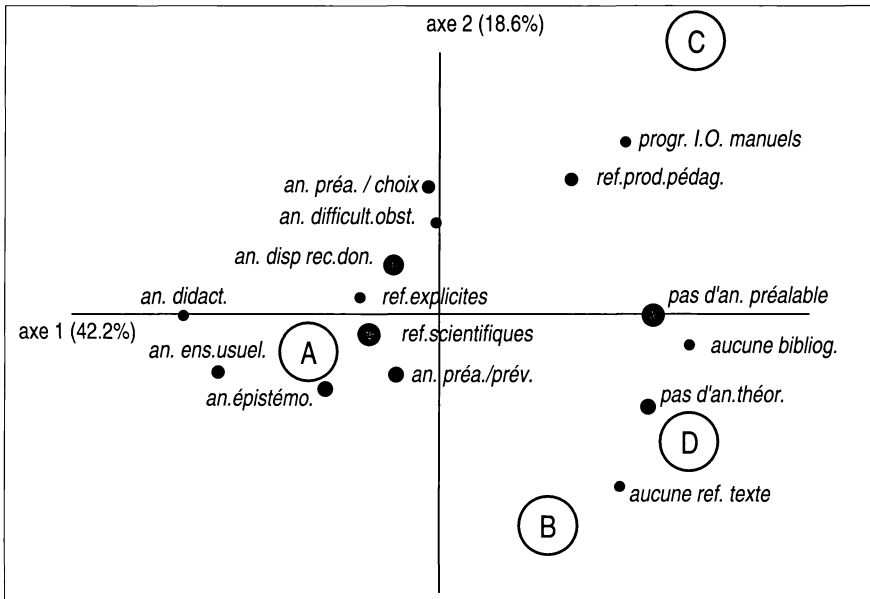


Figure 3 : AFC relative à l'approche théorique

La carte obtenue (figure 3) permet de rendre compte de 60,8 % de la variance au moyen des deux premiers axes (77.2 % par les trois axes). Dans le domaine de l'approche théorique, les instituts étudiés se répartissent en trois groupes : l'IUFM-A, l'IUFM-C et un troisième groupe constitué par l'IUFM-B et l'IUFM-D. Autour de l'IUFM-A se concentre une grande partie des modalités relatives aux *analyses théoriques* (notamment didactique) et *préalables*. Les *références* sont faites dans le texte de manière *explicite* et la bibliographie contient fréquemment des *ouvrages scientifiques*, articles de recherche, DEA ou thèses. Les mémoires de l'IUFM-B, de l'IUFM-D et de l'IUFM-C semblent dépourvus d'analyses théoriques et préalables ; ils ne font généralement pas allusion à des travaux ou à des auteurs et ne contiennent le plus souvent aucune référence bibliographique exception faite parfois de références aux programmes et instructions officielles, aux manuels et également à des articles visant directement l'utilisation d'outils pédagogiques ou pratiques en classe (certains articles du *Bulletin de l'union des physiciens* par exemple).

5.3. AFC relative à la mise en œuvre

L'analyse porte sur les 19 modalités correspondant aux 4 critères : **population, caractéristiques de l'expérimentation, analyse des données et conclusion.**

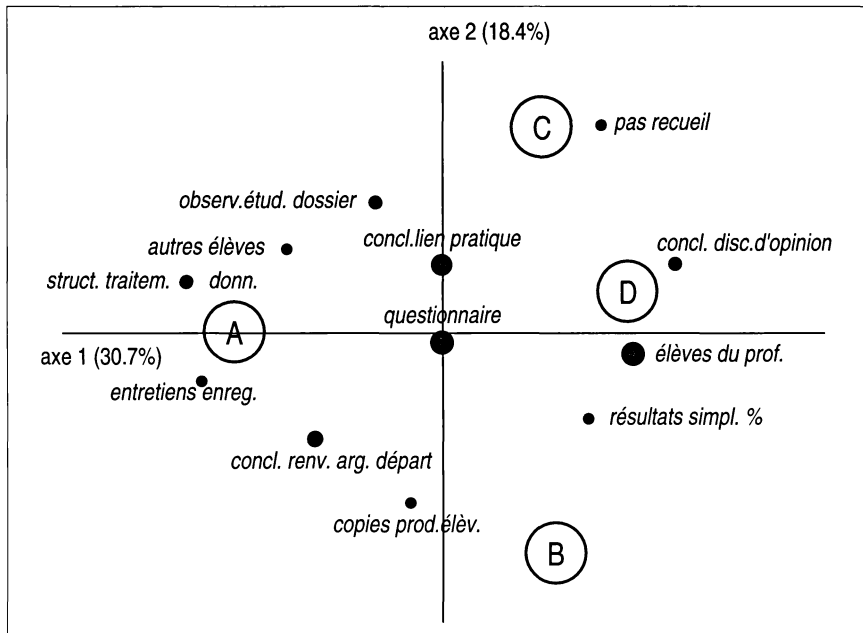


Figure 4 : AFC relative à la démarche mise en œuvre

Les deux premiers axes (figure 4) expliquent ici 49,1 % de la variance (61 % par les trois axes). Ici encore, les quatre IUFM se répartissent dans l'espace un peu en tétraèdre.

À l'IUFM-C, l'IUFM-D et l'IUFM-B, le travail sur le mémoire donne lieu à des activités ou à un recueil de données qui concernent des *élèves de l'auteur* ; à l'IUFM-A, au contraire, ces activités sont conduites auprès d'*autres élèves*. Il y a pratiquement toujours recueil de données à l'IUFM-A et l'IUFM-B, parfois à l'IUFM-D ; en revanche, il n'y a presque pas de données recueillies à l'IUFM-C. Le recueil, lorsqu'il existe, est le plus souvent effectué au moyen d'un questionnaire, parfois à l'aide d'entretiens enregistrés (IUFM-A), parfois à partir de copies ou d'autres productions d'élèves (IUFM-B). On trouve fréquemment, dans les mémoires de l'IUFM-A, des procédures de traitement et d'analyse des données, alors qu'ailleurs les résultats sont le plus souvent donnés sous forme brute ou en

pourcentages. La conclusion renvoie à l'argumentation de départ à l'IUFM-A et parfois à l'IUFM-B. Elle s'apparente souvent à un discours d'opinion à l'IUFM-D. Dans les quatre IUFM, les conclusions établissent souvent un lien avec la pratique.

5.4. Bilan des analyses factorielles de correspondance

Les trois analyses que nous venons de commenter montrent que les mémoires professionnels étudiés présentent des caractéristiques différentes selon les instituts dans lesquels ils sont produits. En nous référant aux profils de mémoires définis *a priori*, concernant les objets d'étude, les phénomènes d'enseignement-apprentissage (PEA) sont étudiés dans les IUFM A et B, les projets d'enseignements (PRO) se trouvent plutôt dans les IUFM B et D et les études de pratiques d'enseignants (PRA) sont rencontrées, semble-t-il, dans les IUFM C et D.

Concernant les méthodologies mises en œuvre, il apparaît qu'à l'IUFM-A les mémoires répondent assez bien aux caractéristiques d'un travail de recherche (R) telles qu'elles ont été décrites précédemment. Les résultats des analyses factorielles de correspondances ne permettent pas, en revanche, d'identifier de manière aussi nette la nature de la méthodologie - témoignage (T) ou enquête (E) - utilisée dans les trois autres IUFM. On constate simplement que, dans ces mémoires, il n'est pas fait, de manière significative, référence à des travaux, à des connaissances ou à des savoirs théoriques en relation avec le sujet. Or cela aurait pu être le cas, quelle que soit la volonté institutionnelle de concevoir, ou non, le travail sur le mémoire comme une sensibilisation à l'attitude, à l'esprit ou à la pratique de la recherche. Ici, les références utilisées proviennent davantage du terrain de l'enseignement (programmes, instructions officielles, manuels etc.) que du domaine théorique (didactique, épistémologique ou psychologique etc.) Mais les résultats que nous avons obtenus ci-dessus ne nous permettent pas d'en dire beaucoup plus. L'étude quantitative par unité de signification, dont nous allons présenter ci-dessous les résultats, devrait nous permettre de les affiner et de les compléter en tentant de préciser notamment, d'une part, le rapport à la théorie et, d'autre part, le rapport à la pratique qui se dégage des mémoires professionnels réalisés dans les quatre instituts.

6. ANALYSE QUANTITATIVE PAR UNITÉ DE SIGNIFICATION

Dans cette étude, nous avons cherché à définir de la manière la plus rigoureuse possible, à partir de la lecture des mémoires, un certain nombre

de variables numériques nous permettant d'effectuer une analyse quantitative des rapports à la théorie et à la pratique. Faute de pouvoir recourir à des outils disponibles, nous avons dû mettre au point un dispositif d'analyse séquentielle et détaillée des mémoires que nous décrivons ci-dessous.

6.1. Découpage en unités de signification

Pour conduire cette étude, nous avons pensé au départ utiliser des procédures disponibles en linguistique (comptage de mots, groupements sémantiques etc.) mais nous nous sommes très vite rendu compte que ces procédures, élaborées pour de toutes autres recherches, étaient trop lourdes et surtout mal adaptées à notre travail. En effet, notre intention consistait ici essentiellement à tenter de quantifier, au moyen de variables, les éléments de savoirs ou de savoir-faire auxquels l'auteur du mémoire se réfère. Pour cela, il nous fallait découper chaque mémoire en unités suffisamment « grosses » de manière à pouvoir contenir à chaque fois au moins un de ces éléments. Ce sont ces unités que nous avons proposé d'appeler « *unités de signification* » (Bardin, 1977). Chacune d'elles est ainsi constituée d'une phrase ou d'un ensemble de phrases consécutives véhiculant généralement une idée. L'usage nous a montré qu'un mémoire professionnel d'une trentaine de pages peut ainsi être découpé en moins d'une centaine d'unités dont la longueur peut varier entre une et quelques dizaines de lignes.

6.2. Repérage des domaines de référence et définition des variables

Nous avons regardé, pour chacune des unités de signification, si elle faisait référence à des éléments théoriques ou pratiques de la formation. Nous nous sommes servis pour cela des variables que nous présentons ci-dessous avec leurs codes et que nous avons regroupées selon trois domaines.

6.2.1. Références à des éléments théoriques

Nous avons classé comme références théoriques les références explicites ou non à des concepts ou travaux relatifs à la *didactique (Di)* des sciences (l'étude ou la prise en compte des conceptions des élèves, le niveau de formulation d'un concept), à l'*épistémologie (Ep)* des sciences (l'analyse d'un concept, le statut de l'expérience), aux *sciences de l'éducation*,

à la *psychologie cognitive* ou *sociale* (*Ps*), aux savoirs en *sciences physiques* (*Ph*), à d'autres travaux de *recherches* (*Re*) en sciences humaines ou sociales.

6.2.2. Références aux pratiques habituelles

Nous avons placé dans cette rubrique, tout ce qui fait référence au terrain de l'enseignement, de l'établissement et des élèves. C'est-à-dire tout ce qui se rapporte aux *stages* (*St*) en établissement que font ou ont fait les professeurs stagiaires, mais encore les références aux activités de l'*enseignement* (*Ens*) en général. Une autre catégorie de références aux *pratiques habituelles*, que nous noterons (*Pr*), est constituée par les allusions faites à des savoirs pratiques ou plus simplement à des astuces pédagogiques, ayant apparemment pour origine soit un collègue expérimenté soit l'expérience personnelle du professeur stagiaire lui-même, comme enseignant ou comme élève, et qu'il utilise dans son mémoire sans référence précise.

6.2.3. Références correspondant au travail d'expérimentation lié au mémoire

Ont été classées dans ce domaine les activités d'enseignement et/ou de recueil de données montées spécifiquement à des fins d'*expérimentation* (*Exp*) et conduites avec des élèves dans le cadre du travail sur le mémoire. Ces activités se situent le plus souvent sur le terrain de la pratique enseignante mais correspondent à une « pratique provoquée » par le travail d'élaboration du mémoire professionnel.

De plus, nous avons classé dans ce domaine les *résultats* (*Rés*) provenant des données recueillies au cours de cette expérimentation, les réponses ou les transcriptions d'entretiens provenant des élèves ou des enseignants étudiés ainsi que les protocoles qui correspondaient aux travaux éventuellement proposés, dans la mesure où ils témoignaient de réalités vécues sur le terrain par les élèves concernés par le travail de mémoire.

6.3. Calcul des indices associés aux variables

À chacune des dix références définies ci-dessus nous avons associé une variable numérique. Le principe de notre méthode a consisté à catégoriser et à décompter séparément les unités de signification puis à calculer, pour chaque variable, un indice numérique permettant de quantifier, dans le mémoire, le poids de chacune d'elles. La valeur de l'indice I_A relatif

à la variable A mesure le nombre d'unités correspondant à cette variable que contiendrait le mémoire s'il comportait cent unités de signification. (Nous avons rapporté tous nos calculs d'indices à cent unités afin de rendre les valeurs comparables entre elles d'un mémoire à l'autre).

Nous avons calculé les indices pour chacun des mémoires étudiés et pour chaque variable. Nous avons ensuite calculé les moyennes obtenues pour chaque variable et pour chaque IUFM. Puis, nous avons effectué sur les dix variables une analyse de la variance afin de savoir celles qui étaient discriminantes, un test de moyennes pour déterminer celles qui étaient significativement différentes et enfin le test de Fisher afin de mesurer la significativité de chaque variable. Il ressort des résultats de ces tests que seules les sept variables *Di*, *Ep*, *Rés*, *Exp*, *Ens*, *St* et *Pr* se sont révélées significatives et suffisamment discriminantes, ce qui a permis d'utiliser les indices correspondants et les moyennes pour effectuer une analyse comparative significative des mémoires.

Nous avons, dans un premier temps, comparé les indices obtenus pour ces sept variables par les différents mémoires au moyen d'une analyse en composantes principales (ACP).

6.4. Analyse en composantes principales sur les mémoires étudiés

6.4.1. Principe de l'analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode d'analyse multiple qui ne concerne que des variables numériques, contrairement à l'AFC qui traite des variables modales. Elle permet d'étudier le degré de corrélation entre les différentes variables et de situer les objets étudiés (ici les mémoires) par rapport à ces variables.

Le résultat de l'analyse est exprimé par une carte (figure 5) comprenant un cercle, des rayons et des points.

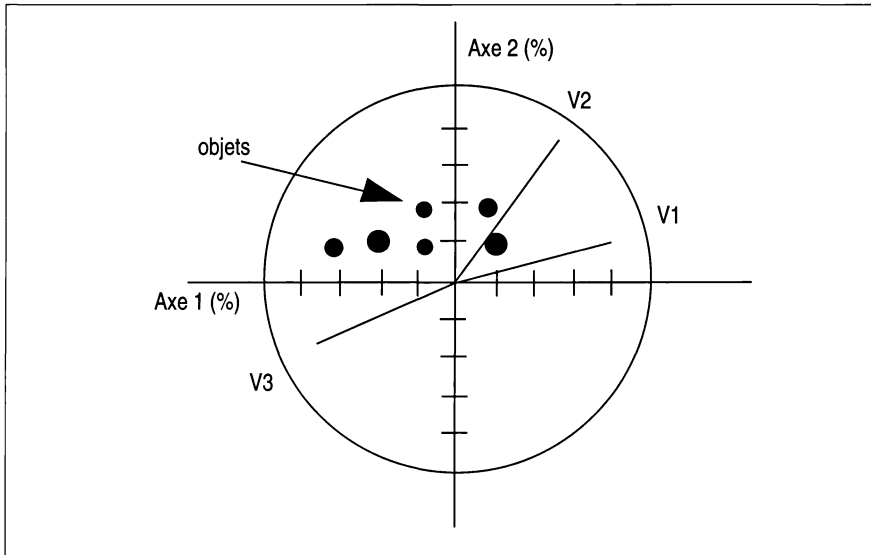


Figure 5 : Représentation schématique du résultat d'une ACP

La somme des valeurs portées (en %) sur les deux axes indique le pourcentage de variance expliqué par la figure. Chaque rayon représente une variable analysée. Leur position sur le cercle donne des indications sur les corrélations mutuelles entre variables.

Deux rayons faisant entre eux un angle aigu (exemple V1,V2) représentent deux variables corrélées positivement et ce, d'autant plus que l'angle est faible. Si l'angle est obtus (exemple V1,V3), les deux variables sont corrélées négativement. Un angle droit indique une absence de corrélation.

Dans ce système d'axes et de rayons, les objets étudiés sont représentés par des points de taille proportionnelle aux nombres d'objets situés au même endroit.

Si le pourcentage de variance expliqué est jugé insuffisant, il est possible d'étudier l'ACP selon trois axes (ou même davantage). Le logiciel fournit alors autant de cartes que de couples d'axes. Dans le cas d'une étude effectuée selon trois axes, chacune de ces cartes peut être interprétée comme la projection sur un plan d'une figure en trois dimensions. Deux cartes donnent alors les projections de l'analyse sur les plans (Axe1, Axe2) et (Axe1, Axe3).

6.4.2. Description des cartes fournies par l'ACP

Les cartes représentant les résultats de cette analyse sont données ci-dessous (figure 6). On constate que 66.2 % de la variance est expliquée par les trois premiers axes.

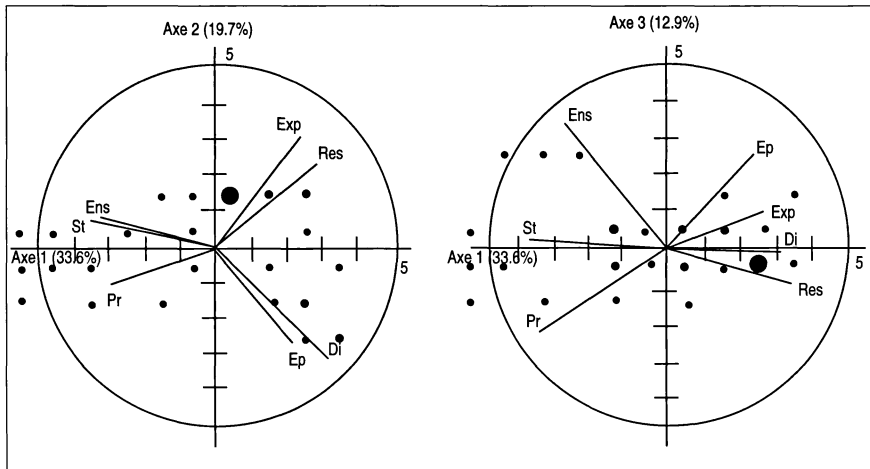


Figure 6 : Résultats de l'analyse en composantes principales

La répartition des variables fait apparaître trois zones plus ou moins fortement corrélées. La première contient les variables *St*, *Ens* et *Pr*, la seconde *Exp* et *Rés* et la troisième *Di* et *Ep*. L'étude des positions des mémoires dans les cartes montre une répartition dans l'espace située essentiellement au voisinage du plan défini par les axes 1 et 2. Dans ce plan, la répartition laisse apparaître une densité plus importante située au point de coordonnées (0.5 ; 1.5) un peu au-dessus du rayon correspondant à la variable *Exp* et au voisinage des rayons *Ep* et *Di*. Le reste des mémoires se trouve assez bien réparti le long de l'axe 1 et au voisinage des rayons *Exp* et *Rés*. Tout cela permet de rendre compte de la diversité des mémoires étudiés.

Reste à savoir s'il est possible, ici encore, de mettre en évidence des caractéristiques institutionnelles, et, dans l'affirmative, de savoir si celles-ci correspondent avec celles qui ont été envisagées à partir des résultats de l'analyse globale.

6.4.3. Recherche de caractéristiques institutionnelles à partir de l'ACP

À partir de l'analyse en composantes principales, nous avons recherché et identifié une à une les positions des 42 mémoires analysés.

Les résultats de ce travail permettent de localiser dans le plan des axes 1 et 2 des zones bien délimitées contenant la quasi totalité des mémoires d'un même institut. La figure ci-après (figure 7) représente la répartition obtenue. On constate une nette séparation des zones correspondant aux mémoires provenant de l'IUFM-A, l'IUFM-B et l'IUFM-C. Ceci semblerait montrer d'une part que les mémoires réalisés dans ces trois instituts correspondent à des produits différents et, d'autre part, que les mémoires produits dans un même institut présentent un caractère d'homogénéité. En revanche, on constate que les mémoires en provenance de l'IUFM-D sont situés dans une zone qui recouvre en partie celles de l'IUFM-C et de l'IUFM-B. Nous en déduisons que les mémoires réalisés à l'IUFM-D se rapprochent, selon les cas, de ceux de l'IUFM-C ou de ceux de l'IUFM-B.

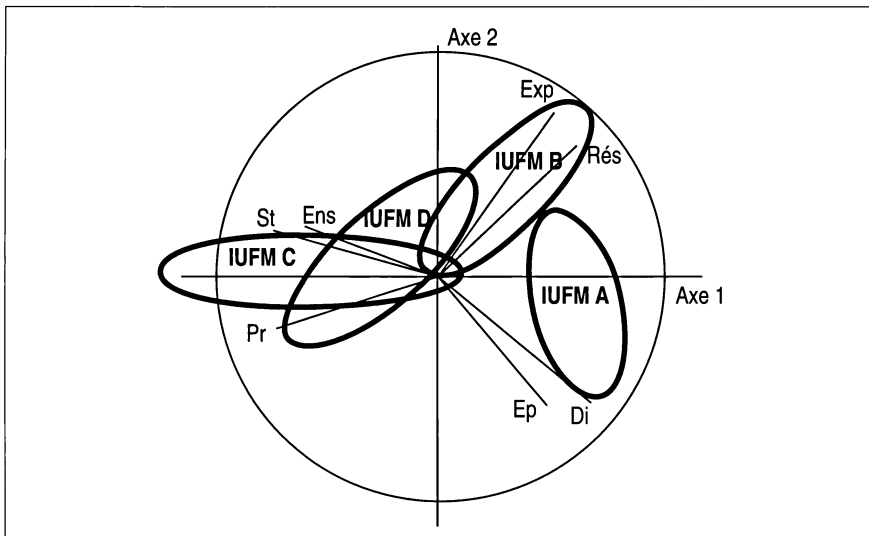


Figure 7 : Répartition des mémoires selon les instituts

La zone de l'ACP dans laquelle se situent les mémoires de l'IUFM-A témoigne, d'une part, de l'existence de références à la théorie, ici didactique et épistémologie (*Di* et *Ep*) et, d'autre part, de la présence d'une expérimentation et de données recueillies et traitées (*Exp* et *Rés*). L'importance relative des sept variables significatives peut être mise en évidence à l'aide des valeurs des moyennes obtenues pour chacune d'elles. Le diagramme ci-après (figure 8) fournit ces valeurs en permettant de les comparer aux valeurs extrêmes rencontrées dans l'ensemble des mémoires étudiés (Rappelons que ces moyennes expriment des pourcentages).

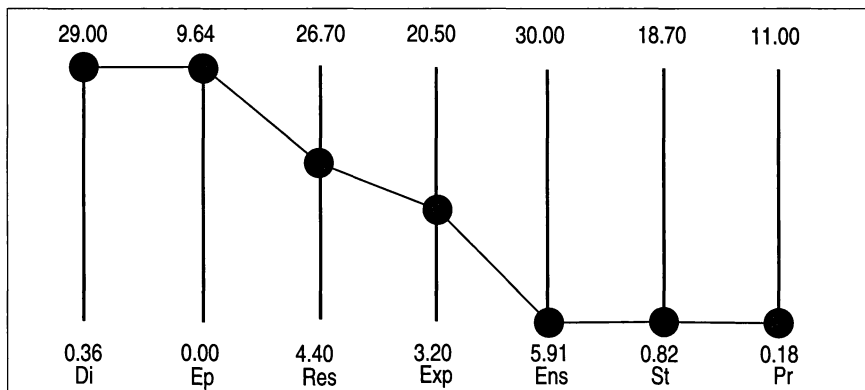


Figure 8 : Diagramme des mémoires de l'IUFM-A

On constate que les moyennes obtenues pour les variables *Di* (29,00) et *Ep* (9,64) sont maximales. Les moyennes correspondant aux variables *Rés* (17,9) et *Exp* (11,36) sont intermédiaires. Enfin, les moyennes correspondant aux variables *Ens* (5,91), *St* (0,82) et *Pr* (0,18) sont minimales. Les références à des concepts ou des travaux théoriques (ici didactiques et épistémologiques) apparaissent donc comme importantes. En revanche les références aux pratiques habituelles sont nettement plus rares.

La zone de l'ACP (figure 7) correspondant aux mémoires réalisés à l'IUFM-B est située le long des rayons représentant les variables *Exp* et *Rés* ce qui témoigne de la forte influence de ces deux variables. Dans le diagramme ci-dessous (figure 9), les moyennes correspondant aux variables *Di* (2,20) et *Ep* (0,30) témoignent de la faiblesse des références faites aux concepts et travaux relatifs à la didactique des sciences et à l'épistémologie. Inversement les moyennes relatives à l'expérimentation *Exp* (26,70) et aux résultats provenant des données recueillies au cours de l'expérimentation *Rés* (20,50) sont les plus élevées. Les références au stage *St* (11,60) sont également importantes. Ces résultats montrent l'importance accordée dans ces mémoires à l'expérimentation et au recueil de données ainsi que l'impact du stage sur le mémoire.

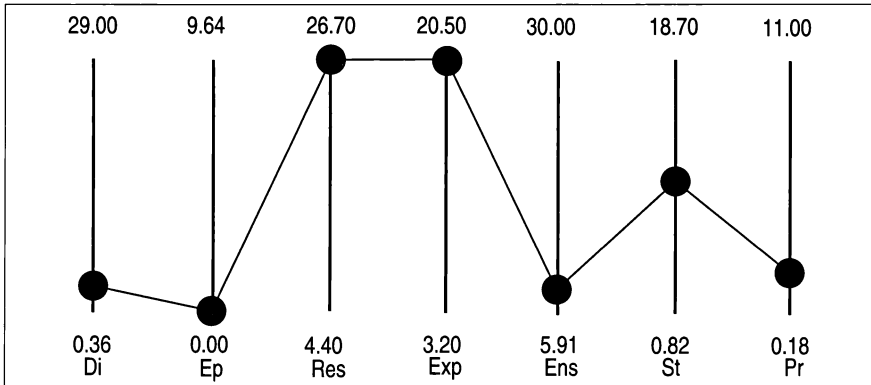


Figure 9 : Diagramme des mémoires de l'IUFM-B

La zone dans laquelle l'ACP (figure 7) situe les mémoires de l'IUFM-C se trouve le long de l'axe 1 au voisinage immédiat des rayons *St*, *Pr* et *Ens*. Telle qu'elle apparaît, relativement aux autres variables, cette situation permet de prévoir un rapport à la pratique fortement influencé par le vécu du stagiaire comme enseignant dans son établissement.

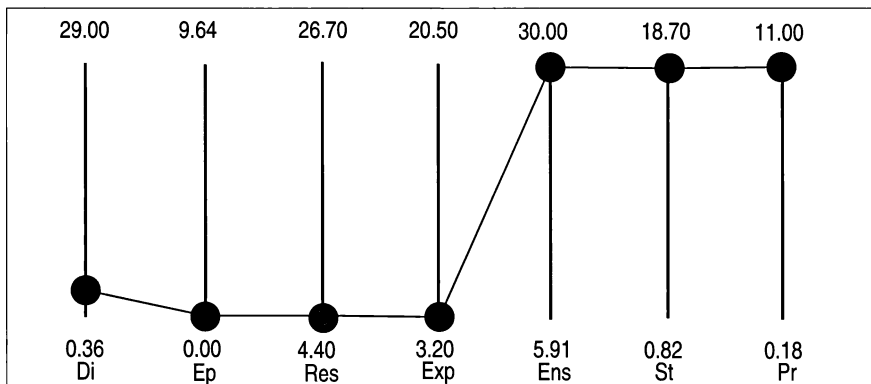


Figure 10 : Diagramme des mémoires de l'IUFM-C

L'examen du diagramme des moyennes ci-dessus (figure 10) montre que celles-ci ne sont fortes que pour les trois variables *Ens* (30,00), *St* (18,70) et *Pr* (11,00) qui correspondent aux valeurs maximales enregistrées pour ces variables. Les moyennes sont très faibles

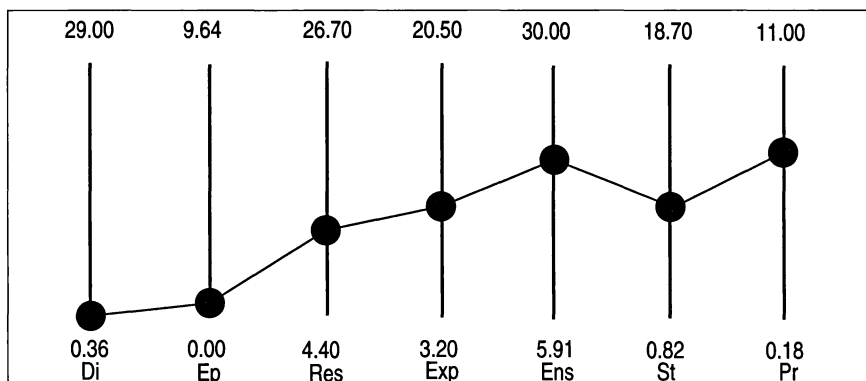


Figure 11 : Diagramme des mémoires de l'IUFM-D

Les moyennes sont ici comparables à celles obtenues à l'IUFM-C au niveau de la faiblesse des références aux concepts et travaux issus de la didactique et de l'épistémologie : *Di* (0,36) et *Ep* (0,63). Elles s'en distinguent principalement par un appel plus important à l'expérimentation *Exp* (10,81) et aux résultats provenant des données recueillies au cours de l'expérimentation *Rés* (12,90) ce qui naturellement a pour effet d'entraîner des valeurs réduites pour les moyennes relatives à l'enseignement *Ens* (22,54), au stage *St* (8,00) et aux savoirs pratiques *Pr* (7,72).

En rapprochant les résultats de l'analyse détaillée par unité de signification (provenant de l'ACP et donnés ci-dessus) avec ceux que nous avons obtenus lors de l'analyse globale par le moyen des trois AFC relatives au sujet, à l'approche théorique et à la mise en œuvre, nous allons maintenant essayer de voir en quoi les mémoires diffèrent d'un institut à l'autre.

7. BILAN DES ANALYSES QUALITATIVES ET QUANTITATIVES : CARACTÉRISATION DES MÉMOIRES EN FONCTION DES IUFM

7.1. L'IUFM-A

Les résultats de l'analyse détaillée semblent confirmer ce que nous disions à la suite de l'analyse globale : les mémoires correspondent généralement à l'étude d'une question relative à un phénomène d'enseignement – apprentissage (PEA) effectuée en référence aux champs

théoriques de la didactique et de l'épistémologie des sciences physiques. Or, nous avons vu dans l'analyse globale que l'expérimentation comportait le plus souvent une procédure de recueil de données dont les résultats étaient ensuite fréquemment analysés en référence à un cadre théorique. On se rapproche ici d'une démarche de recherche (R) et le travail sur le mémoire apparaît donc comme une sensibilisation à cette démarche ce qui est tout à fait conforme au schéma directeur que cet institut a élaboré pour le mémoire professionnel dont l'encadrement est assuré, de plus, par des chercheurs en didactique.

Le rapport à la théorie (ici didactique et épistémologie) est fort : cela résulte aussi bien des AFC relatives au sujet et à l'approche théorique que de l'ACP. La faiblesse des références aux pratiques habituelles obtenues dans l'analyse détaillée ne permet pas cependant de conclure à l'absence de rapport à la pratique. En effet, dans ce type de mémoire, le rapport à la pratique existe même s'il est indirect. Il passe en effet par le questionnement, généralement centré sur l'élucidation d'une question relative à des phénomènes d'enseignement ou d'apprentissage, et par la conclusion pratiquement toujours en lien avec la pratique comme en témoignent les résultats de l'analyse globale.

Ces résultats semblent en accord avec les caractéristiques institutionnelles de la formation disciplinaire donnée, en sciences physiques à l'IUFM-A qui repose, en particulier, sur une forte implication de chercheurs en didactique dans l'encadrement des mémoires professionnels.

7.2. L'IUFM-B

Les AFC ont montré que les mémoires réalisés à l'IUFM-B portent fréquemment sur l'étude d'une difficulté généralement liée à une question d'enseignement ou à l'apprentissage des élèves (PEA) ou sur l'impact, en classe, d'un projet d'enseignement (PRO). Cette étude est généralement effectuée sans être problématisée de manière explicite dans un cadre théorique. Elle repose sur un recueil de données effectué auprès des élèves de l'auteur au moyen d'un questionnaire ou de documents (copies) provenant de ces derniers. Le plus souvent, les résultats sont présentés sous forme de pourcentages. Il s'agit essentiellement d'enquêtes ou d'observations instrumentées (E) effectuées par les professeurs stagiaires auprès de leurs élèves dans leur classe au cours du stage en responsabilité.

Le rapport à la pratique est fort par la nature des sujets des mémoires qui consistent souvent à étudier une difficulté en rapport avec la pratique du métier et par la fréquence des références faites au stage en responsabilité. L'examen de l'AFC relative à l'approche théorique, ainsi que

le peu de références aux concepts et travaux théoriques qui apparaissent à la lecture de l'ACP, témoignent d'un rapport à la théorie relativement faible.

Ainsi, en mettant l'accent sur la connaissance de problèmes professionnels, les mémoires de l'IUFM-B (de type PEA-E ou PRO-E) se distinguent-ils de ceux de l'IUFM-A (PEA-R), essentiellement par leur rapports à la théorie. Ceci confirme l'hypothèse d'un impact institutionnel fort : en effet, même si, à l'IUFM-B, une majorité de formateurs en sciences physiques sont ouverts aux approches didactiques comme cela nous a été confirmé par les responsables de la formation en sciences physiques de cet institut, il convient de remarquer, contrairement à l'IUFM-A, la faible part institutionnelle de leur implication dans le travail sur le mémoire dont l'encadrement est le plus souvent confié à un professeur de terrain expérimenté (5 % du temps de formation est consacré à une initiation au travail sur le mémoire avec un chercheur en didactique). C'est peut-être ce qui explique que les sujets des mémoires relèvent fréquemment du champ de la didactique, notamment au niveau du questionnement (étude de représentations, modélisation, réflexion sur l'expérience etc.), mais qu'on ne retrouve pas souvent de références à des travaux théoriques (de didactique ou autres) dans les corps des mémoires et dans les conclusions.

7.3. L'IUFM-C

Les résultats de l'analyse détaillée (importance des références au terrain de l'enseignement et faiblesse des références aux concepts et travaux théoriques) semblent cohérents avec ceux des AFC effectuées lors de l'analyse globale (place réduite des modalités concernant les analyses théoriques - justification minimale du choix du sujet - références bibliographiques rares à l'exception des programmes et instructions officielles. - chronique de stage). Le rapport à la théorie est ici très faible. Le rapport à la pratique est, quant à lui, fortement soutenu par des témoignages en relation avec le stage ou des situations d'enseignement. Contrairement aux mémoires de l'IUFM-A et de l'IUFM-B, le questionnement est généralement inexistant et le souci d'argumenter le discours rare. Nous pourrions parler ici de mémoires-témoignages (T) : il s'agit en effet, le plus souvent, du récit ou de l'exposé d'un moment, d'une innovation ou d'un travail effectué par le stagiaire avec ses élèves au cours du stage en responsabilité (PRO ou PRA).

Là encore, les caractéristiques observées dans les mémoires de l'IUFM-C (PRO-T ou PRA-T) semblent cohérentes avec les choix institutionnels : l'IUFM-C consacre, en effet, des moyens importants à des

travaux en groupes de formation professionnelle au cours desquels les stagiaires préparent, tout au long de l'année, des séquences qu'ils réalisent ensuite en classe. Les sujets des mémoires sont élaborés dans le cadre de ces groupes de formation professionnelle, leur encadrement est effectué sur le terrain par des enseignants du second degré expérimentés n'ayant jamais fait de recherche et n'ayant généralement pas de connaissances en didactique des sciences.

7.4. L'IUFM-D

La comparaison avec l'analyse globale confirme, comme à l'IUFM-B, la présence d'enquêtes ou d'études empiriques réalisées à partir de questionnaires (E) et, comme à l'IUFM-C, de récits ou de chroniques portant sur des activités ou des contenus d'enseignement réalisés en stage (T). En ce sens, les mémoires de l'IUFM-D ne se distinguent pas fondamentalement de ceux de l'IUFM-C ou de ceux de l'IUFM-B

On peut rapprocher ces résultats des caractéristiques de formation : il y a, à l'IUFM-D, un travail préliminaire de présentation du mémoire (6h : 3 avec un chercheur en didactique et 3 pour la méthodologie). Tout le reste du travail est effectué en tutorat avec, le plus souvent, des professeurs de terrain ou des conseillers pédagogiques n'ayant pas de formation particulière pour encadrer des mémoires. On constate, ici encore, une influence certaine de ces caractéristiques institutionnelles sur les produits obtenus.

8. CONCLUSION

Le principal résultat de cette étude des mémoires de sciences physiques est la confirmation de l'importance des choix institutionnels effectués au sein de la formation disciplinaire : il semble, en effet, que les mémoires de sciences physiques dépendent en grande partie des schémas directeurs et des objectifs des dispositifs de formation de chaque institut dans cette discipline, mais également des caractéristiques et moyens d'encadrement liés à leur élaboration. A cela s'ajoutent vraisemblablement des effets de contrat entre l'auteur du mémoire et le formateur qui en assure le suivi. On peut dire que les mémoires reflètent bien la formation voulue par l'institution. Ainsi, les mémoires jugés « bons » par chaque institution ne se ressemblent pas ; ce qui signifie que les approches institutionnelles à ce que doit être un « bon » enseignement des sciences physiques sont différentes d'un IUFM à l'autre.

L'analyse *a priori* permettait d'envisager, pour un mémoire

professionnel, trois catégories d'objets d'étude et trois types de méthodologie. Nous pouvions, théoriquement, nous attendre à neuf combinaisons ; nous n'en avons, en réalité, rencontré que cinq.

La première concerne les mémoires ayant pour objet l'analyse d'une pratique habituelle d'enseignant : ils ont généralement consisté en de simples témoignages et privilégient le rapport à la pratique (PRA-T). Ils sont majoritaires dans l'institut qui privilégie, dans son plan de formation, la bonne réalisation du stage à travers des activités de préparation de séquences et de suivi du stage sur le terrain par des conseillers pédagogiques, et dans lequel la formation en didactique occupe un faible poids.

Les deux suivantes concernent des mémoires centrés sur l'étude d'un projet d'enseignement et traités, suivant les instituts, selon la démarche témoignage (PRO-T) ou selon la démarche enquête (PRO-E). Ils sont caractérisés, dans les analyses précédentes, par la faiblesse de leur rapport à la théorie.

Les deux dernières sont relatives à des mémoires qui ont pour objet l'étude d'un phénomène d'enseignement/apprentissage et qui sont réalisées, selon deux démarches méthodologiques différentes, proche de l'enquête (PEA-E), ou proche de la démarche de recherche (PEA-R). On peut constater que cette dernière démarche n'est rencontrée que dans l'IUFM-A dans lequel le poids de la didactique des sciences est important, tant dans la formation que dans le suivi des mémoires.

Il apparaît de plus que seuls des mémoires ayant pour objet l'analyse d'un phénomène d'enseignement/apprentissage ont été traités, dans un institut, en référence à un cadre théorique : celui de la didactique des sciences physiques. Nous n'avons pas trouvé beaucoup de références théoriques, fussent-elles prises hors du champ de la didactique, dans les mémoires appartenant aux deux autres catégories d'objets d'étude. Cela eût pourtant été possible : la plupart des sujets abordés correspondant à des domaines étudiés par la didactique, la psychologie cognitive ou sociale et les sciences de l'éducation.

Notons, en outre, qu'on trouve, dans tous les mémoires, un rapport important à la pratique. Ceci est dû à la nature même du mémoire qui, comme "professionnel", s'appuie toujours sur un objet d'étude témoignant de la pratique. Mais cet objet n'est pas regardé de la même façon, avec les mêmes outils : selon les cas, il s'agira de ceux du chercheur ou de ceux de l'enseignant. Ainsi, le rapport à la pratique, tout en étant important, peut être de nature différente selon les IUFM.

Au premier abord, il peut paraître trivial de conclure à l'existence de différences institutionnelles entre les mémoires professionnels. Ce qui l'est

moins, de notre point de vue, c'est d'une part l'importance des ces différences d'un institut à l'autre et, d'autre part, la grande homogénéité des mémoires produits dans un même institut. En effet, il convient de remarquer que :

- tous les IUFM ont une origine commune et récente ; leur création remonte à 1991 ; ils sont nés de la fusion entre les anciennes Écoles Normales qui formaient jusqu'alors les instituteurs et les Centres Pédagogiques Régionaux où étaient formés les professeurs du second degré et ils ont été en même temps transformés en instituts universitaires ;

- la formation universitaire des étudiants qu'ils reçoivent est sensiblement la même en tous lieux ;

- partout les textes institutionnels mentionnent l'importance, pour les futurs enseignants, d'une formation en didactique.

Tout cela devrait contribuer à donner à la formation reçue une coloration relativement homogène, ce qui était en l'occurrence l'intention du législateur. Or, les résultats de notre étude, qui recourent de ce point de vue ceux que nous avons pu observer par ailleurs (Robardet, 1995, 1998), semblent indiquer le contraire.

Une hypothèse explicative peut être trouvée au niveau de la nature des savoirs mis en œuvre en formation des maîtres, et particulièrement, pour ce qui nous concerne, des savoirs issus de la didactique des sciences physiques. Contrairement aux savoirs scientifiques enseignés dans le second degré ou à l'Université, ceux-ci ne sont généralement pas légitimés par une institution externe (inspection générale, institutions savantes, groupes de travail sur les *curricula* etc.) Ils résultent, au contraire, d'une transposition opérée, en général, sur le lieu même de la formation et leur légitimité dépend en partie de la reconnaissance, par l'institution de formation, de leur pertinence par rapport aux tâches d'enseignement. Il apparaît, en outre, que cette transposition est effectuée en référence à des savoirs encore trop jeunes et très enracinés dans leurs lieux de production que sont les laboratoires de recherche pour pouvoir être qualifiés de savants. Johsua propose de désigner ces savoirs de référence par le terme de « *savoirs experts* » (Johsua, 1996, 1998).

Une interprétation de nos résultats qui peuvent trouver un cadre théorique dans les approches institutionnelle et écologique de la théorie anthropologique des savoirs de Chevallard (1992) est alors la suivante. Le terrain de la formation des maîtres, nourri de savoirs experts et de pratiques sociales différents, voire concurrents parce que traitant des mêmes questions, pourrait être le lieu où se manifesteraient des problèmes de « territoires » concernant les différents acteurs. Il appartient, en principe, aux institutions d'arbitrer et de régler ces problèmes dans le cadre de la

définition et de la mise en oeuvre du plan de formation, mais, aussi au niveau beaucoup plus microcosmique, de décisions concernant les modalités et les caractéristiques de la formation. Cela signifie que des choix conséquents doivent être effectués au niveau institutionnel et c'est de la clarté et de la nature de ces choix que dépendraient un certain nombre des effets obtenus.

Lorsque les choix institutionnels conduiraient à privilégier nettement un territoire, ou parviendraient à faire fusionner de manière harmonieuse différents territoires, les chances seraient accrues d'obtenir, chez les formés, des rapports aux savoirs conformes au rapport institutionnel à ces mêmes savoirs, ce qui est l'objectif, ou du moins l'une des conditions nécessaires d'une formation réussie. En revanche, l'absence ou la déficience de choix institutionnels clairs et cohérents, pourrait se traduire sur le terrain de la formation par des conflits de territoires qui, dans certains cas, pourraient se régler moyennant certaines concessions ou abandons mais qui, dans d'autres, pourraient être vifs. Le risque serait alors, pour l'institution de ne pouvoir en contrôler les effets, et pour la formation d'y perdre en efficacité et surtout en crédibilité.

Ainsi, de notre point de vue, les mémoires professionnels pourraient témoigner de choix institutionnels s'appuyant plus ou moins sur deux conceptions différentes de la pratique d'enseignement, et donc sur deux modèles de formation.

Le premier, nourri de références expertes s'inscrivant en continuité avec les pratiques habituelles d'enseignement, vise essentiellement, volontairement ou non, à les transmettre aux futurs enseignants. La méthode privilégiée dans ce modèle de formation semble relever de l'imitation des experts, représentés sur le terrain de l'enseignement par les professeurs « chevronnés » : elle relève par conséquent de l'observation des pratiques. Parce qu'elles correspondent aux normes admises par le terrain de l'enseignement, les pratiques visées ici semblent pouvoir s'affranchir le plus souvent de justification sur le plan théorique sans que cela ne nuise, de quelque façon que ce soit, à la reconnaissance par les stagiaires et par les formateurs de leur légitimité.

Le second modèle, propose d'interroger ces mêmes pratiques moyennant un détour théorique, un « pas de côté ». Ce modèle s'inscrit en rupture avec les pratiques habituelles ; il ne dispose donc pas de la légitimité « naturelle » du premier et ne peut procéder par la seule observation des pratiques : la rupture avec celles-ci doit alors être payée par un important détour théorique destiné à légitimer la modélisation qu'impose la validation des pratiques de substitution. De plus, comme il s'agit d'introduire des pratiques qui ne vont pas de soi, ce modèle a besoin, pour pouvoir s'appliquer avec succès, d'un cadre institutionnel qui lui soit favorable.

C'est en tout cas ce qui semble se dégager des résultats de notre étude. Plusieurs savoirs, relevant des sciences de l'éducation ou de la psychologie sont, en droit, susceptibles d'intervenir dans une formation s'inscrivant en rupture avec les pratiques habituelles. Mais, dans cette étude qui concernait essentiellement la formation des enseignants en sciences physiques, nous n'avons jamais trouvé d'autres détours théoriques que didactiques et épistémologiques et nous n'avons jamais rencontré de points de vue didactiques clairement exprimés en l'absence de détour théorique.

Notre sentiment est que ce que nous avons observé à travers l'étude des mémoires professionnels de sciences physiques ne serait, ni plus ni moins, qu'une des manifestations de la prédominance, ici ou là, de l'un ou l'autre des deux modèles de formation, et que la nature du rapport à la théorie - et donc ici aux savoirs experts de la didactique des sciences - observé dans les mémoires serait directement reliée au modèle dominant de la formation tel qu'il apparaît dans les textes et se manifeste dans la préparation et le suivi du travail effectué par les futurs professeurs sur leur mémoire.

BIBLIOGRAPHIE

- ARTIGUE M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 9, n° 3, pp. 281-308.
- BARDIN L. (1977). *L'analyse de contenu*. Paris, PUF.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1991). Circulaire n° 91-202 du 2 juillet 1991. *Numéro 27 du 11 juillet 1991*. Paris, Ministère de l'Éducation nationale de la Recherche et de la Technologie.
- CHEVALLARD Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : Perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 12-1, pp. 73-112.
- JOHSUA S. (1996). Le concept de transposition didactique n'est-il propre qu'aux mathématiques ? In C. Raisky & M. Caillot (Éds), *Au delà des didactiques, le didactique*. Bruxelles, De Boeck, pp. 61-73.
- JOHSUA S. (1998). Des "savoirs" et de leur étude : vers un cadre de réflexion pour l'approche didactique. *L'année de la recherche en sciences de l'éducation*, pp. 79-97.
- ROBARDET G. (1995). *Didactique des sciences physiques et formation des maîtres : contribution à l'analyse d'un objet naissant*. Thèse de doctorat, Grenoble, Université Joseph Fourier.
- ROBARDET G. (1998). La didactique dans la formation des professeurs de sciences physiques face aux représentations sur l'enseignement scientifique. *Aster*, n° 26, pp. 31-58.

ANNEXE

Grille utilisée pour l'analyse globale des mémoires

1. Population

1. Besançon
2. Grenoble
3. Marseille
4. Reims

2. Le sujet du mémoire concerne essentiellement

1. les élèves
2. les enseignants
3. des activités d'enseignement

3. Justification du choix du sujet

1. aucune justification
2. opinion personnelle
3. difficultés par rapport à la pratique
4. réflexion didactique, épistémologique, psychologique.
5. programmes textes ou instructions officielles

4. Le mémoire comporte une étude portant sur

1. un savoir enseigné en relation avec une réflexion didactique ou épistémologique
2. un contenu d'enseignement en référence à un programme
3. une technique d'enseignement

5. Objectifs du mémoire

1. élucidation d'une question d'enseignement-apprentissage
2. proposition d'enseignement
3. chronique de stage
4. enquête
5. analyse d'une difficulté liée à une pratique d'enseignement

6. Forme des références présentes dans le texte du mémoire

1. aucune référence dans le texte
2. allusions sans réf. explicites
3. références explicites

7. Nature des références bibliographiques

1. scientifiques (ouvr., art.rech., DEA, Thèses)
2. productions pédagogiques orientées enseignement
3. documents relatifs au savoir à enseigner. (Progr., I.O., manuels)
4. aucune référence bibliographique

8. Le mémoire comporte-t-il une analyse théorique en référence avec son sujet ? Si oui, quelle est sa nature ?

1. aucune analyse théorique
2. analyse épistémologique
3. analyse didactique

4. analyse des difficultés et/ou obstacles
5. analyse de l'enseignement usuel
6. analyse institutionnelle
7. analyse des contraintes
8. analyse se référant au champ de la psychologie ou des sciences de l'éducation
(6 réponses au maximum)

9. Le mémoire comporte-t-il une analyse *préalable* ? Si, oui, elle porte sur :

1. aucune analyse *préalable*
2. analyse en termes de choix de la méthodologie ou de la situation étudiée
3. analyse en terme de prévisions des effets ou des réponses attendus
4. analyse concernant le dispositif de recueil des données
(3 réponses au maximum)

10. Caractéristiques de l'expérimentation (population et méthode) elle concerne :

1. les élèves du professeur stagiaire
2. d'autres élèves
3. des enseignants

Elle a été étudiée au moyen

4. d'un questionnaire
5. de copies et autres productions d'élèves
6. d'enregistrements et/ou d'entretiens
7. d'observations, d'une étude de documents ou de dossiers
8. d'une auto-observation (le professeur est à la fois acteur et observateur)
(3 réponses au maximum)

11. Analyse des données

1. pas de recueil de données
2. présentation de résultats sans traitement ni analyse
3. présentation de résultats accompagnés d'une analyse et/ou d'un traitement

12. Conclusion

1. absence de conclusion
2. la conclusion s'apparente à un discours d'opinion
3. la conclusion renvoie à l'argumentation de départ
4. la conclusion établit un lien avec la pratique
(2 réponses au maximum)

La question du questionnement dans l'évaluation en biologie

Asking questions in biology evaluation

Babacar GUEYE

École Normale Supérieure
BP 5036
Dakar, Sénégal.

Résumé

Dans toute évaluation la qualité des questions posées est déterminante. À travers cet article nous montrons qu'à l'épreuve de biologie au baccalauréat le questionnement n'est pas aussi clair et précis qu'il n'y paraît. Malgré les apparences la plupart des questions (analyser, interpréter, commenter, déduire, etc.) font appel beaucoup plus à la restitution de connaissances qu'au raisonnement.

Mots clés : évaluation, question, biologie, raisonnement, connaissances.

Abstract

In every assessment, the quality of questions is very important. This study shows that at general certificate of education in Senegal, the questions of biology are not so clear and precise as it seems to be. In spite of the appearances most of them (to analyse, to interpret, to comment, to deduce etc...) call better recitation of knowledge than reasoning.

Key words : assessment, question, biology, reasoning, knowledge.

Resumen

En toda evaluación la calidad de las preguntas propuestas es determinante. A través de este artículo mostramos que el cuestionamiento que se le hace a la prueba de biología en el bachillerato no es tan claro y preciso como parece. A pesar de las apariencias la mayoría de las preguntas (analizar, interpretar, comentar, deducir, etc.) hacen más hincapié en la restitución del conocimiento que en el razonamiento.

Palabras claves : evaluación, pregunta, biología, razonamiento, conocimiento.

INTRODUCTION

Dans la plupart des pays ce sont les professeurs enseignant la discipline qui élaborent les épreuves d'examen soumises aux élèves qui doivent faire leurs preuves à partir d'une production écrite.

C'est le cas pour l'épreuve de biologie au baccalauréat scientifique (séries C et D) du Sénégal où les sujets sont élaborés depuis les années 70 à partir de documents divers (résultats d'expériences, graphes, schémas, etc.) à propos desquels un certain nombre de questions sont posées.

Si les documents utilisés, qui proviennent le plus souvent de manuels universitaires ou de revues spécialisées, sont, dans l'ensemble, très peu critiquables sur le plan purement scientifique, il n'en est pas de même des questions qui sont posées. On s'en rend d'ailleurs compte lors des réunions préliminaires d'harmonisation entre correcteurs d'un même centre d'examen. Parfois la mésentente entre les professeurs sur la réponse attendue à une question est telle qu'on peut penser que celle-ci ne définit pas avec précision la production qui est demandée.

Dès lors, il devient plus que pertinent de se demander si, à l'épreuve de biologie au baccalauréat, les questions posées sont suffisamment bien ciblées quant aux objectifs qu'elles doivent officiellement aider à évaluer. C'est à cette interrogation que nous allons tenter de trouver une réponse.

1. CADRE CONCEPTUEL

1.1. Qu'est-ce que l'évaluation ?

L'évaluation, qui est l'un des premiers domaines d'investigation des sciences de l'éducation, a reçu plusieurs définitions qui montrent une évolution du concept liée aux réponses données, au fur et à mesure, aux

différentes questions qui déterminent sa problématique : «Quoi évaluer ?»
«Quand et pourquoi évaluer ?» «Comment évaluer ?»

C'est ainsi que dans les années 1950-1960, l'évaluation était considérée comme «*un processus consistant à déterminer dans quelle mesure les objectifs d'éducation sont en voie d'être atteints*» (Tyler, 1950, p. 69) ; ce qui, du reste, était tout à fait cohérent avec l'idée que l'élaboration d'un programme d'éducation devait se faire en 4 phases essentielles :

– *déterminer les objectifs que les cours ou le programme devaient viser à atteindre,*

– *choisir les expériences d'apprentissage qui aideront à atteindre ces objectifs,*

– *organiser ces expériences d'apprentissage,*

– *déterminer dans quelle mesure on a atteint les objectifs* « (Furst, cité dans Stufflebeam et al., 1980, p. 14).

Ce n'est que plus tard que certains auteurs (Stufflebeam et al., 1980 ; De Ketele, 1993) ont commencé à mettre l'évaluation au service de la prise de décision.

Il est de tradition, à l'école, d'évaluer en cours d'apprentissage (interrogations orales ou écrites) ou en fin d'études (examens, concours) ; pratiques que l'on distingue respectivement en évaluation formative et en évaluation sommative (Scriven, 1967). Cependant, l'évaluation sommative ne doit plus s'arrêter à la proclamation des résultats car elle peut revêtir un aspect régulateur pour peu qu'on se donne la peine de s'intéresser, en plus des notes, aux copies des candidats.

En effet, la confection d'un «sottisier» peut renseigner sur l'efficacité des outils d'évaluation mais également sur les autres éléments du curriculum (aides didactiques, durée des apprentissages, etc.) et permettre de baser les différentes décisions de réforme des curricula sur une approche scientifique et didactique des problèmes et non sur des appréciations incertaines comme on a malheureusement l'habitude de le faire.

1.2. Qu'est-ce qu'une question ?

On peut classer les questions en fonction de la nature de la réponse à fournir ou en fonction du processus mental qui a permis de produire la réponse considérée.

C'est ainsi que, dans le premier cas, en fonction de la nature de la réponse, on distingue :

- les questions à production convergente qui sollicitent une et une seule réponse considérée comme la seule juste,

- les questions à production divergente qui demandent à chaque élève de fournir un effort personnel de composition d'une réponse originale.

Dans le second cas, en fonction du processus mental, on obtient également deux types de questions :

- les questions ouvertes ou à réponse construite par l'élève dans une démarche et un vocabulaire qui prouvent qu'il a maîtrisé plus ou moins la matière,

- les questions fermées ou à réponse choisie dans un ensemble de réponses proposées par l'évaluateur.

On peut même établir une correspondance, d'une part entre questions à production convergente et questions fermées, d'autre part entre questions à production divergente et questions ouvertes.

Mais, au-delà de toutes ces considérations, il faut retenir que poser des questions compréhensibles par les élèves doit être une des qualités fondamentales d'un enseignant.

Dans le cas particulier de la biologie on peut définir une question comme étant une demande faite pour vérifier une ou plusieurs capacités chez les élèves :

- capacités à restituer des connaissances,
- capacités à réaliser un objet,
- capacités à raisonner,
- capacités à communiquer.

2. LE PROBLÈME

Au Sénégal, les sujets de biologie au baccalauréat sont conçus par les professeurs de lycée qui détiennent les classes de terminale.

Le choix des sujets est confié à un professeur d'université, à un inspecteur général ou à un professeur d'enseignement secondaire chevronné travaillant seul ou en équipe.

Depuis décembre 1977, une circulaire de l'office du baccalauréat, qui est la copie conforme de celle de 1969 en France, stipule que « *les sujets proposés feront donc appel moins à la mémoire qu'à l'intelligence. À cette fin ils prendront la forme de problèmes à résoudre.* »

Dès lors, l'épreuve est constituée à partir d'une documentation que l'élève doit exploiter dans le sens indiqué par les questions qui lui sont posées.

Les intentions de cette réforme sont nobles et claires, il s'agit de privilégier, dans les exercices proposés, les situations qui font beaucoup plus appel au raisonnement et à l'esprit de logique qu'à la restitution des connaissances mémorisées.

Le problème est maintenant de savoir si les épreuves, telles qu'elles sont conçues et présentées, répondent à cette exigence.

3. LA MÉTHODE

La totalité des sujets de biologie au baccalauréat du Sénégal (1970-1985) a été rassemblée (116 en tout). Dans un premier temps, tous les verbes clés (analyser, interpréter, commenter, déduire) utilisés dans le questionnement ont été relevés afin de voir l'usage qu'en font les concepteurs de sujets en fonction du type de document qui sert de support. Dans un second temps le comportement des élèves et des professeurs a fait l'objet d'une étude approfondie à travers des copies d'examen corrigées (Gueye, 1988).

4. RÉSULTATS ET COMMENTAIRES

4.1. L'usage que font les auteurs de sujets de ces différents verbes

Les documents utilisés dans la conception des sujets de biologie au baccalauréat peuvent être classés en 3 grandes catégories :

- la description de résultats expérimentaux,
- les courbes et les graphes,
- les dessins et les schémas.

4.1.1. Le document est la description de résultats expérimentaux

Exemple : document I ci - dessous.

ÉTUDE PHYSIOLOGIQUE

1°) a) L'ablation des testicules (castration) chez des vertébrés mâles adultes entraîne la stérilité et la régression des caractères sexuels secondaires (atrophie des vésicules séminales et de la prostate chez le rat par exemple, régression de la crête et des barbillons chez le coq, disparition de « l'instinct » ou du comportement sexuel).

b) La ligation des spermiductes (canaux déférents) entraîne la stérilité mais ne modifie pas les caractères sexuels secondaires.

c) La greffe d'un fragment de testicules ou l'injection d'extraits testiculaires, à un mâle, rétablit l'état normal des caractères sexuels secondaires, mais l'animal reste stérile.

Analyser ces résultats

– Quel est le territoire, visible sur le document (2), responsable de la manifestation des caractères sexuels secondaires ?

– Par quelle voie et sous quelle formes se réalise cette action ?

Justifiez votre réponse (3 points pour le 1°).

2°) a) L'ablation de l'hypophyse (hypophysectomie) chez un rat adulte entraîne une diminution du poids des testicules, une atrophie de tous les territoires testiculaires, une régression des vésicules séminales.

b) Après l'injection répétée d'extraits hypophysaires, les testicules et les vésicules séminales retrouvent leur morphologie initiale et redeviennent actifs.

c) Par contre, l'injection répétée d'extraits hypophysaires à un rat adulte hypophysectomisé et castré ne provoque pas le développement des vésicules séminales.

Interprétez ces résultats et précisez le rôle et le mode d'action de l'hypophyse (2 points).

3°) a) L'ablation des testicules d'un rat adulte entraîne aussi une hypertrophie de certaines cellules de l'hypophyse antérieure. **Que montre ce résultat ?**

b) On réalise une expérience de parabiose chez le rat. Deux rats mâles sont réunis par une suture latérale de la peau et des muscles abdominaux (des vaisseaux sanguins de néoformation apparaissent dans la zone des sutures appartenant aux deux animaux).

La parabiose est effectuée entre un rat mâle castré et un rat mâle hypophysectomisé (document 3).

D'après les déductions des expériences précédentes, quelles sont les modifications que vont subir l'hypophyse, les testicules et les vésicules séminales des rats en expérience ? (2 points pour le 3°).

4°) a) L'hypophyse est reliée à l'hypothalamus (régions de l'encéphale) par la tige pituitaire (document 4). On a remarqué que :

– des lésions hypothalamiques peuvent provoquer des atrophies testiculaires.

– la section de la tige pituitaire entraîne les mêmes résultats que l'hypophysectomie.

Interprétez ces résultats

b) Deux lots de jeunes canards sont élevés en lumière artificielle.

1^{er} lot : les yeux sont masqués à l'aide d'une cagoule. On constate que les testicules ne se développent pas.

2^{ème} lot : sans cagoule, les testicules se développent normalement, mais l'énucléation des globes oculaires comme la section de la tige pituitaire empêchent l'action de la lumière.

Expliquez ces résultats en tenant compte des relations neuro-hormonales dans l'organisme (2 points pour le 4°).

Dans ce genre de document, présentant des situations formellement identiques à travers les différentes expériences décrites dans le document I, la place fonctionnelle des termes utilisés dans le questionnement semble militer en faveur d'une certaine synonymie, du moins d'une certaine équivalence, entre les différents verbes (analyser, interpréter, déduire, expliquer, etc.) Ceci est confirmé lorsque, dans la troisième question, l'auteur du sujet parle de «**déductions des expériences précédentes**» expériences qu'il avait demandé, auparavant, «**d'analyser**» à la première question et «**d'interpréter**» à la deuxième

On peut dire, dans tous les cas, que l'objectif testé est visiblement le même : l'élève doit dire grâce à un raisonnement rigoureux ce que montrent les résultats des expériences présentées.

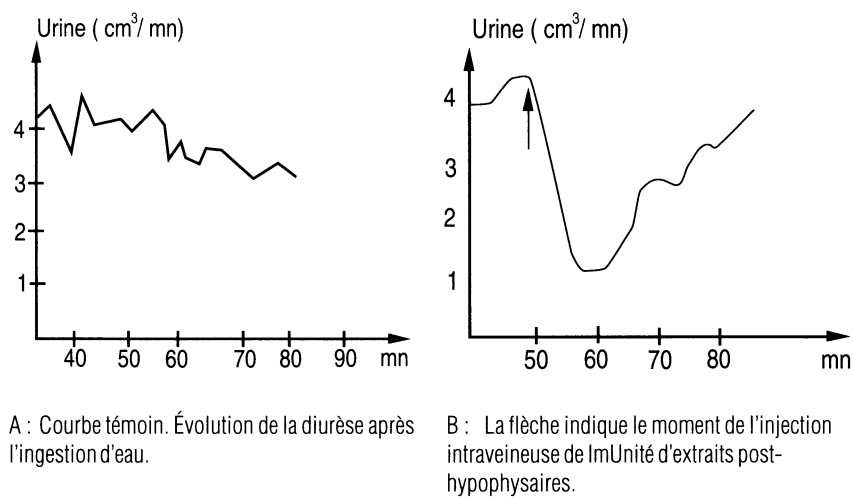
4.1.2. Le document est une courbe ou un graphe

Exemples : documents II et III ci-dessous.

On réalise une série de 4 expériences sur un chien. Vingt minutes avant chaque expérience le chien ingère de l'eau et se trouve donc au moment de l'expérience en état de polyurie. Les résultats obtenus sont traduits par 4 courbes A, B, C, D.

1°) Commentez et interprétez la courbe B.

2°) Commentez et interprétez les courbes C et D. Que pouvez-vous conclure quant à l'influence des reins sur la pression osmotique plasmatique ?



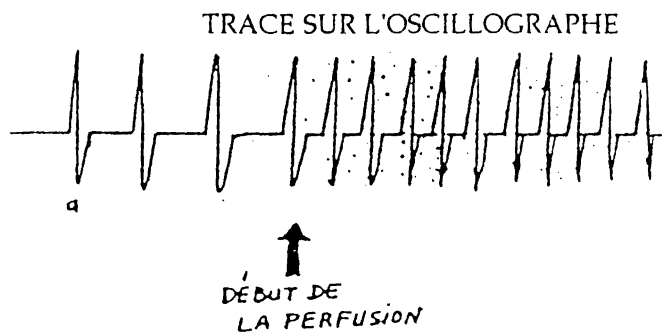
Document II : **Extrait du sujet de la deuxième session du baccalauréat série D de 1982**

Une série d'expériences est réalisée sur le lapin pour mettre en évidence certains aspects de la physiologie cardiaque.

Le pneumogastrique étant bien dégagé on fixe deux électrodes à sa surface et on les relie à un oscillographe. On envoie alors du sang sous pression dans le sinus carotidien.

La photographie de l'écran de l'oscillographe permet d'obtenir la reproduction suivante (enregistrement réalisé au niveau d'une fibre nerveuse).

TRACE SUR L'OSCILLOGRAPHE



– Analysez la portion a du tracé. Expliquez et interprétez ce qui précède et ce qui suit le début de la perfusion.

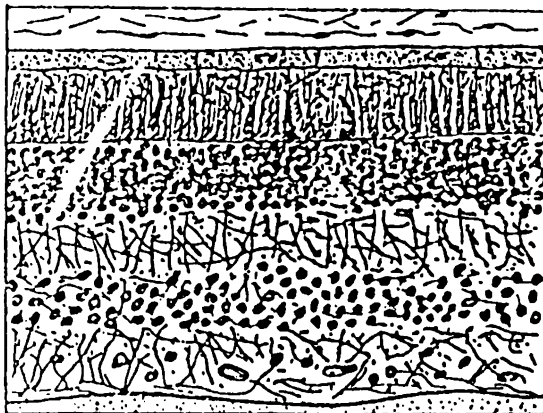
Document III : Extrait du sujet de la deuxième session du baccalauréat série C de 1983

Dans ces deux documents, la situation est différente. Parfois les termes sont employés seuls ou en couple : «commentez et interprétez» (document II), «expliquez et interprétez» (document III).

On est alors en droit de penser que la synonymie soupçonnée plus haut ne peut plus être retenue, car si l'auteur du sujet sent le besoin d'utiliser deux termes différents dans la question posée c'est qu'il s'attend à deux phases dans la formulation de la réponse de l'élève. Mais, dans ce cas, où commence et où s'arrête chacune des demandes : «commentez», «interprétez», «expliquez», etc. ? D'ailleurs le barème ne précise pas le poids accordé à l'une ou à l'autre phase. Cette situation semble être symptomatique d'un imbroglio sémantique dans lequel se trouverait le questionnement dans l'épreuve de biologie au baccalauréat.

4.1.3. Le document est un dessin ou un schéma

Pour cette situation nous prendrons l'exemple typique de la microphotographie de coupe de rétine (document IV).



1980 : Orientez ce document et portez-y directement toutes les légendes nécessaires à son interprétation.

1984 : **Interprétez** par un schéma simple et précis la structure d'une partie de la microphotographie.

Document IV : **Extraits des sujets du baccalauréat série D de 1980 et 1984**

On peut remarquer qu'en plus de la mauvaise qualité des microphotographies, les colorations qui y étaient présentées ne montraient que les noyaux des cellules et absolument pas les fibres et les synapses. Pour voir les différents éléments il aurait fallu donner la microphotographie d'une coupe de rétine avec une coloration au nitrate d'argent ou une coloration de Golgi.

Si on s'attend à une représentation objective de ce que l'on voit réellement on devrait se contenter des trois couches de noyaux. Les élèves qui mettent une légende correcte ou font des schémas corrects reproduisent de mémoire ce qu'ils ont déjà étudié parce qu'ils ne peuvent le faire à partir du seul document proposé.

Ici l'effort de précision de la demande (« *interprétez* ») révèle en fait que celle-ci peut se faire de différentes manières (légende ou schéma) avec comme objectif une identification des connaissances (document IV, 1980) ou une restitution de connaissances (document IV, 1984).

La volonté de faire faire un raisonnement à l'élève, exprimée par l'emploi du verbe «interpréter», cache mal le contrôle de la mémorisation des connaissances qui, dans ce cas précis est, de façon tout à fait évidente, l'objectif évalué.

Le document présenté sert en fait d'aide-mémoire et l'emploi du verbe «interpréter» n'est qu'un artifice pour éviter de dire à l'élève de réciter ce qu'il sait sur la structure de la rétine.

À la suite de cette première approche il semble se dégager que la plupart des exercices sont construits à l'aide d'un questionnement trop découpé et fragmentaire qui les ramène, malgré les apparences et les compléments, à une suite de questions de connaissances déguisées.

Cependant, pour mieux saisir la signification de ce vocabulaire, nous allons étudier, sur quelques exemples, la réaction des candidats et des professeurs à travers des questions traitées et corrigées.

4.2. Comportement des élèves et des correcteurs

Les exemples de questions traitées et corrigées sont les questions 1 et 2 du document I.

4.2.1. Première question du document I (baccalauréat D de 1979)

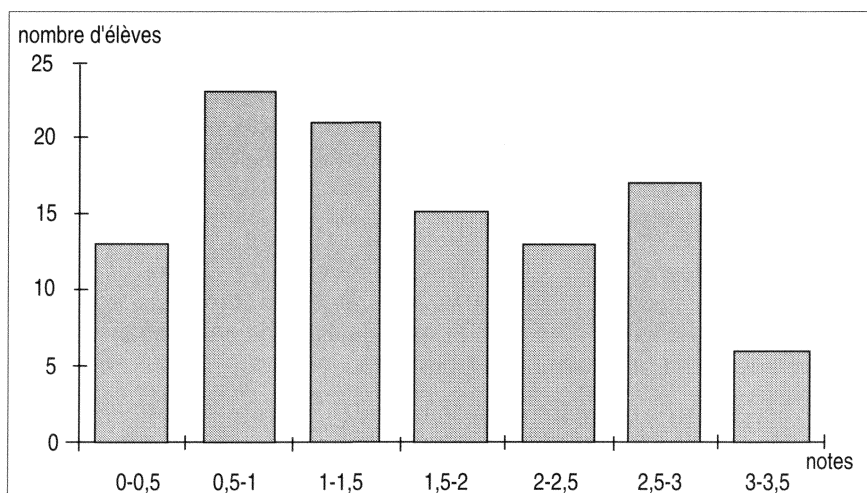


Figure 1 : Histogramme des notes obtenues par un échantillon de 108 candidats

a) L'ablation des testicules entraîne la stérilité et la négre
 tion des caractères sexuels secondaires
 Conclusion : les testicules sont donc responsables de la
 fécondité et de l'apparition des caractères sexuels secondaires

b) La liquore des spermatozoïdes (contient le canal qui on pense de
 sperm) entraîne la stérilité mais les caractères sexuels secondaires
 persistent
 Conclusion : donc l'agent responsable des caractères sexuels
 secondaires ne passe pas par les spermatozoïdes

c) La saffle d'un fragment de testicule à un mâle castré
 rétablit les caractères sexuels secondaires mais l'animal reste stérile
 Conclusion : le traitic testiculaire agit soit par spermatozoïdes
 ou l'écordité

Figure 2 : Premier exemple de réponse apportée à la première question du document I (baccalauréat D de 1979)

Le testicule agit par voie paracrine ou hormonale. Il
 sécrète une pulsatase qui est directement sécrétée
 le sang et qui agit sur les caractères sexuels secondaires.
 Cette pulsatase est une hormone. L'hormone testiculaire
 est la testostérone.

3) La régulation des spermatozoïdes se modifie par l'axe
 sexuel secondaire.
 Ce sont les cellules de Leydig et les cellules de Sertoli
 qui sont responsables de la manifestation des caractères
 sexuels secondaires.
 La Testostérone est sécrétée par les cellules de Leydig.
 Cette action se réalise par voie paracrine ou hormonale.

Figure 3 : Deuxième exemple de réponse apportée à la première question du document I (baccalauréat D de 1979)

On remarque que 52 % des élèves ont une note qui se situe entre 0 et 1 (figure 1). L'histogramme a son mode dans la classe 0-0,50. Cette question demande, dans sa première partie, d'effectuer un raisonnement logique sur des points précis et c'est ce que font certains élèves comme l'illustrent les réponses suivantes données par un candidat (figure 2). Pourtant, le correcteur reproche à cet élève de s'être limité au raisonnement et de ne pas aller au-delà («*mais précisez*», «*insuffisant*», «*insuffisant*»), c'est-à-dire de ne pas réciter son cours comme son camarade (figure 3) qui restitue une portion de leçon et obtient la note maximale de 3/3.

4.2.2. Deuxième question du document I (baccalauréat D de 1979)

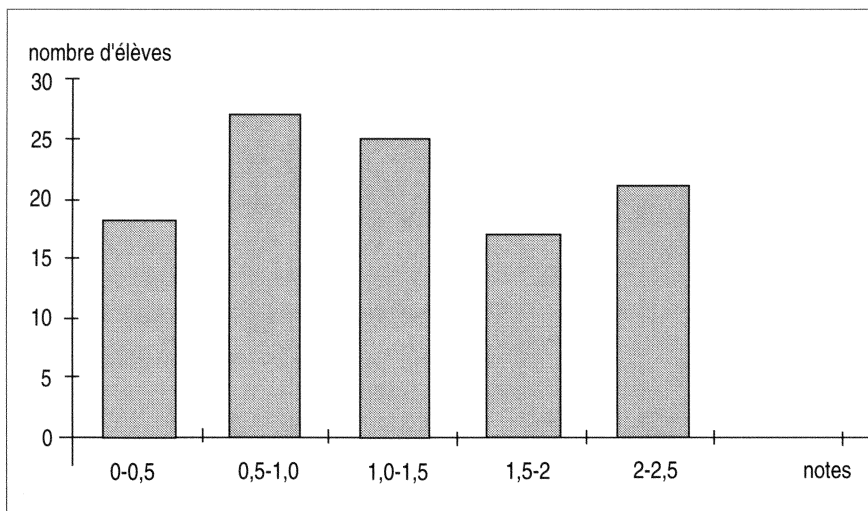


Figure 4 : **Histogramme des notes obtenues par un échantillon de 108 candidats à la deuxième question du document I (baccalauréat D de 1979)**

On remarque que 41 % des élèves ont une note comprise entre 0 et 0,50/2.

L'analyse des réponses des élèves qui ont eu de bonnes notes montre une absence totale de raisonnement logique (en se limitant aux seules données de la question).

En effet, tout ce que l'on peut écrire à partir de ces expériences est :

- a) Il existe une relation entre l'hypophyse et le développement des testicules et des vésicules séminales,
- b) Cette relation se fait par voie sanguine,

20) a) Il y a me certains tests - action entre l'hypophyse et le testicule. On nous on fait une hypophysectomie ceci entraîne une atrophie de organe testiculaire parce que c'est l'hypophyse qui permet la secretion d'hormone mâle et réguler ainsi le fonctionnement de testicules testiculaires -

b) Quand on fait une injection d'extraits hypophysaires chez une rat on constate des testicules testiculaires plus que l'hypophyse agit par les testicules par voie sanguine, le hormone peuvent donc atteindre le testicule -

c) On nous on fait une injection d'extraits hypophysaires à un rat castré, cela ne n'aura aucun effet sur le testicules seminifères. Apres que l'hypophyse agit d'abord sur le testicule qui a leur tour vont agir sur les testicules seminifères. L'action de l'hypophyse sur le testicules seminifères n'est pas directe mais par l'intermédiaire de testicules - les hormones testiculaires n'existent pas l'action de l'hypophyse reste sans effet.

Figure 5 : Exemple de réponse apportée à la deuxième question du document I (baccalauréat D de 1979)

– c) L'action de l'hypophyse sur les vésicules séminales ne peut se faire en l'absence des testicules.

Or nous trouvons très souvent des réponses très bien appréciées par le correcteur (figure 5) qui ne peuvent pas découler des résultats expérimentaux ainsi décrits. En effet, dans l'exemple de la figure 5, l'élève ne fait que restituer des connaissances qui débordent largement du cadre des expériences décrites dans l'énoncé du sujet de l'examen.

CONCLUSION

La plus grande partie de la durée d'un cours est occupée par les questions que pose le professeur et par les réponses données par les élèves. C'est pourquoi il est bon de savoir poser des questions et de bien s'en servir.

L'évaluation des apprentissages en biologie, au travers de l'épreuve papier-crayon, s'accommode d'un questionnement flou et imprécis qui résulte d'un imbroglio sémantique difficile à maîtriser et à clarifier.

Une question ne doit pas être ambiguë et doit être clairement posée dans un langage compréhensible par les élèves surtout si la langue d'enseignement n'est pas leur langue maternelle.

L'usage d'un langage non familier dans le questionnement débouche sur un exposé de connaissances que les élèves tirent de leur mémoire en faisant comme s'ils le dégageaient des données du problème.

Aujourd'hui on est sûr « *qu'il s'agisse d'interrogations périodiques, d'examens trimestriels ou annuels, l'évaluation se réduit souvent à un contrôle de rétention de connaissances, laissant inexplorés non seulement les aspects les plus importants de l'intelligence et de la connaissance, mais aussi à peu près tous les traits de personnalité qu'une éducation bien comprise doit cultiver* » (De Landsheere, 1980, p. 21).

Mais il ne s'agit plus de se limiter à un constat mais de s'atteler d'urgence à trouver les conditions et les moyens d'une meilleure appréciation des objectifs de l'enseignement de la biologie aussi bien au plan pédagogique (modalités du questionnement, formation des correcteurs, définition des objectifs, critères de notation) qu'au plan institutionnel (organisation matérielle de l'examen).

Au plan pédagogique, il s'agit surtout d'adopter un autre mode de questionnement en procédant d'abord à une analyse descriptive de la tâche qu'on veut assigner à l'élève avant de formuler la question qui convient. On se rendra compte que, dans les différentes situations que nous venons

d'étudier, les questions du genre : «*Que montrent ces résultats ?*» ou «*Expliquez ces résultats*» sont suffisamment compréhensibles par tous.

«Montrer» fait appel à la capacité de l'élève à saisir les informations contenues dans le document proposé et à les exprimer dans un langage clair et net.

«Expliquer» intègre non seulement la capacité de dire ce que montrent les documents proposés mais surtout la capacité de mettre en relation logique les informations tirées des documents avec ses propres connaissances pour donner un sens aux résultats et aux phénomènes observés.

Mais il y a un préalable qui consiste à bien former les professeurs aussi bien sur le plan théorique que sur le plan pratique aux différentes techniques d'évaluation, avec comme enjeux principaux, une meilleure conception des sujets d'examens et une plus grande congruence entre objectifs d'enseignement et objectifs évalués lors de l'examen final, en s'appuyant sur «*l'extrême richesse au niveau des modes de pensée de la démarche expérimentale qui conduit à valoriser pensée inductive, déductive, dialectique, divergente, et analogique*» (Develay, 1988, p. 14).

Au plan institutionnel, «l'environnement papier-crayon», imposé le jour de l'examen à toute la biologie, limite considérablement les possibilités d'évaluer les capacités de raisonnement et de réalisation des élèves dans ce domaine.

Il paraît tout à fait indispensable de mettre les professeurs, le jour de l'examen, dans un environnement semblable à celui dans lequel ils ont eu à dispenser leur enseignement.

Tant que cette identité entre conditions matérielles d'enseignement et conditions matérielles d'évaluation de la biologie ne sera pas réalisée il sera tout à fait utopique de vouloir apprécier de manière transparente et limpide toutes les qualités des élèves dans cette discipline.

BIBLIOGRAPHIE

- DE KETELE J.-M. & ROEGIERS X. (1993). *Méthodologie du recueil d'information*. Bruxelles, De Boeck.
- DE LANDSHEERE G. (1980). *Évaluation continue et examens. Précis de docimologie*. Bruxelles, Labor.
- DEVELAY M. (1988). Sur la démarche expérimentale. *Aster*, n° 8, pp. 11-15.
- GUEYE B. (1988). *Analyse didactique de l'épreuve de biologie aux baccalauréats C et D de 1970 à 1985 au Sénégal*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.
- SCRIVEN M.S. (1967). *The methodology of evaluation (AERA) Monograph series on curriculum evaluation, book 1*. Chicago, Rand Mc Nally and Co.

STUFFLEBEAM D., FOLEY W., GEPHART W. (1980). *L'évaluation en éducation et la prise de décision*. Ottawa, Éditions H.P.

TYLER R.W. (1950). *Basic principles of curriculum and instruction, Syllabus for education 360*. Chicago, University of Chicago Press.

Élaboration d'une méthode d'analyse des discours d'enseignants ; cas de l'énergie

Elaboration of a method to analyse physics teachers' discourse ; case of energy

Abdelkrim EL HAJJAMI

UMR GRIC Équipe COAST,
CNRS, Université Lyon 2, France et
École Normale Supérieure de Fès, Maroc.

Fouad LAHLOU

Faculté des science Dhar Mehrez
Fès, Maroc et
ICTP, Trieste, Italie.

Salah BENYAMNA

Professeur de l'enseignement supérieur
Ministère de l'Éducation Nationale
Rabat, Maroc.

Andrée TIBERGHEN

UMR GRIC, Equipe COAST,
CNRS, Université Lyon 2, France.

Résumé

Cet article présente une méthode d'analyse du discours de l'enseignant en classe de physique. Cette méthode prend en compte trois dimensions : les niveaux de connaissances physiques, les démarches d'introduction de ces connaissances et le discours d'accompagnement. Pour chaque dimension plusieurs catégories ont été définies. Cette méthode est mise en oeuvre dans le cas d'un enseignement de l'énergie en 1^{ère} S pour les discours de deux enseignants qui ont préparé en commun différentes séquences : sources d'énergie, énergie cinétique, énergie potentielle et rendement énergétique. Les résultats montrent que la méthode élaborée permet de différencier les discours de deux enseignants sur le même thème de physique ainsi que les discours du même enseignant sur des thèmes différents. Une telle analyse constitue une étape importante pour développer des recherches sur les liens entre la pratique de l'enseignant d'une part et son épistémologie relative à la physique d'autre part, ainsi que ses représentations de l'apprentissage.

Mots clés : énergie, modélisation en physique, discours de l'enseignant, enseignement de la physique, démarche d'enseignement.

Abstract

This paper presents a method of analysing the teacher's discourse in physics classrooms. This method takes the following dimensions into account: levels of physics knowledge (theory, model, experimental field), the ways of introducing pieces of knowledge and the accompanying discourse (labelling, explicit rules of the contract...) This method is used in the case of specific course on energy in 1^{ère} S (16-17 year old) for two teachers' discourses who prepared the following teaching sequences together : sources of energy, kinetic energy, potential energy, energy efficiency. The results show that the elaborated method allows differentiation of teachers' discourse in two cases : firstly, when different subjects are taught by a given teacher and secondly, when the same subject is taught by different teachers. Such an analysis is an important step to develop research on the relations between, on one hand, the teachers' practice in the classroom and on the other hand his/her epistemology of physics and of learning.

Key words : energy, physics modeling, teacher's discourse, physics teaching, teaching strategy.

Resumen

Este artículo presenta un método de análisis del discurso del profesor en clase de física. Este método toma en cuenta tres dimensiones : los niveles de conocimientos físicos, los procedimientos de introducción de estos conocimientos y el discurso de acompañamiento. Para cada dimensión varias categorías fueron definidas. Este método fue puesto en práctica en el caso de la enseñanza de la energía en el primer año científico del liceo francés, específicamente considerando el discurso de dos

profesores que prepararon en común las mismas secuencias : fuentes de energía, energía cinética, energía potencial y rendimiento energético. Los resultados muestran que el método elaborado permite diferenciar los discursos de dos profesores sobre el mismo tema de física, así como los discursos de un mismo profesor sobre temas diferentes. Este tipo de análisis constituye una etapa importante para desarrollar investigaciones sobre los lazos entre la parte práctica de la enseñanza y por otra parte su epistemología relativa a la física, así como las representaciones del aprendizaje.

Palabras claves : *energía, modelización en física, discurso del enseñante, enseñanza de la física.*

1. INTRODUCTION

Cet article a pour objectif de présenter une méthode d'analyse du discours de l'enseignant de physique dans sa classe, c'est-à-dire de ce qu'il dit quand il « fait cours ». Cette étude a été menée dans le cadre de l'enseignement de l'énergie en 1^{ère} S.

Des recherches sur le fonctionnement des enseignants se sont développées ces dernières années en didactique des sciences. Une grande majorité est centrée sur les représentations des enseignants concernant leur discipline ou l'apprentissage. Guilbert & Meloche (1993) ont montré que ces représentations sont en majorité à tendance constructiviste lorsqu'il s'agit du contexte de la mise en oeuvre de la science (aspect social), et sont plutôt empiristes quand elles s'expriment sur la nature, les méthodes et les finalités de cette dernière. Robardet (1995) a modélisé les représentations des enseignants en « naturalistes » lorsqu'elles sont proches de la vision empiriste, et « antinaturalistes » lorsqu'elles sont de tendance constructiviste. Brickhouse (1990) a examiné l'articulation entre l'activité des enseignants en classe et leurs idées sur la science. Afin d'orienter les enseignants vers une vision plus constructiviste de la science, Desautels & Larochelle (1994) ont élaboré une stratégie de formation de futurs enseignants, en prenant entre autres, l'approche « science-technologie-société » et l'histoire des sciences.

Bien que la tendance répandue dans ces recherches soit de considérer que les représentations des enseignants influent sur leurs pratiques, peu d'entre elles ont abordé une analyse des discours en classe afin de mettre en relief les aspects qui peuvent être reliés à ces représentations (Gunstone & White, 1998). L'analyse des discours des enseignants est une étape indispensable pour étudier ensuite les relations entre représentations et pratiques. Dans cet article, une méthode d'analyse des discours des enseignants de physique au niveau des lycées est

présentée, afin de discriminer le discours de différents enseignants traitant de mêmes contenus ou d'un même enseignant pour des contenus différents. Pour cela nous avons choisi trois dimensions appelées niveaux de connaissances, démarches d'introduction des connaissances, discours d'accompagnement. Nous avons cherché à mettre à l'épreuve cette méthode dans le cas de l'enseignement de l'énergie en 1^{ère} S. Il s'agit ici d'une première étape de la recherche sur le fonctionnement des enseignants dans la mesure où notre analyse est descriptive.

2. CADRE THÉORIQUE

L'approche théorique présentée vise à analyser plusieurs dimensions du discours d'un enseignant de physique en classe (niveau lycée). Ces dimensions doivent permettre de discriminer le discours de différents enseignants traitant de mêmes contenus ou d'un même enseignant pour des contenus différents. Deux de ces dimensions concernent les connaissances, l'une appelée « niveau de connaissances en physique » fait appel à la modélisation, l'autre spécifie les démarches d'introduction des connaissances. Une troisième dimension concerne les parties du discours qui ne relèvent pas strictement de la physique (injonctions, questions, consignes, etc.) ; nous l'appellerons discours d'accompagnement (Jossé & Robert, 1993).

2.1. Niveaux de connaissances

L'enseignant cherche à transmettre des connaissances qui relèvent de la physique. Pour analyser ces connaissances, une référence est nécessaire et plusieurs choix sont possibles : par exemple un contenu qui relève de la physique de la recherche (savoir savant), il s'agit alors d'en expliciter l'écart avec la physique enseignée, incluse dans le discours de l'enseignant. Un autre choix, compatible avec une démarche de modélisation conduit à distinguer des niveaux de connaissances relatifs aux concepts d'une part (théorie, modèle) et aux objets et événements d'autre part (champ expérimental) (Walliser, 1977 ; Tiberghien, 1994). Ce choix d'analyse des connaissances enseignées a été fait à partir de points de vue sur la physique et sur son apprentissage par des élèves de lycée. Les connaissances peuvent mettre en jeu des éléments de théories ou de modèles physiques ou des aspects relatifs aux objets et événements observables. Le choix de cette catégorisation provient en particulier du fait qu'une des difficultés importantes de l'apprentissage de la physique à ce niveau d'enseignement porte sur la mise en oeuvre par les élèves des

concepts de la physique pour interpréter ou prévoir des événements observables.

Il faut noter que le mot « niveau », contrairement à son sens habituel, n'implique pas ici une idée de hiérarchie. Tiberghien (1994) propose un schéma de ces niveaux et de leurs articulations dans l'activité de la modélisation dans l'enseignement et l'apprentissage de la physique (figure 1).

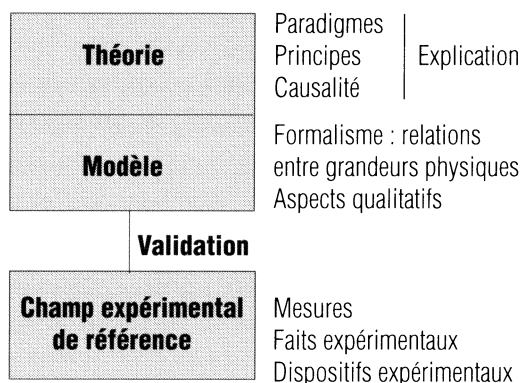


Figure 1 : **Articulation des connaissances : théorie, modèle, champ expérimental** (Tiberghien, 1994)

Le rôle de ces niveaux dans une activité de modélisation est le suivant.

Théorie : la théorie est une construction humaine pour rendre intelligibles les objets et les événements observés. Dans le cas de la physique, cette intelligibilité se fait à partir de paradigmes, de principes et de lois valides sur un large champ expérimental dont fait partie l'expérience ou l'ensemble d'expériences qui sont l'objet de la modélisation (par exemple, le principe de conservation de l'énergie, un des aspects de la théorie, est un principe universel qui est admis dans les différentes branches de la physique).

Modèle : les différents aspects du modèle peuvent être résumés en reprenant les notions de systèmes de signes consistant dans des figures, des graphiques, des symboles mathématiques ou plus simplement des propositions formées avec des mots, systèmes qui seront alors censés représenter la situation (Halbwachs, 1974). Comme le suggère Halbwachs à un tel système de signes, nous donnerons le nom de « modèle » et nous poserons la définition : « connaître une situation, c'est la représenter par un modèle ».

Ici le modèle représente la situation expérimentale, il ne peut exister sans elle. Notons que le modèle relève du domaine du théorique, où une représentation d'une situation réelle est construite dans les termes de la théorie. Ainsi plutôt qu'une distinction nette entre théorie et modèle, nous considérons qu'il y a un continuum.

Champ expérimental : il concerne les situations physiques naturelles ou des situations expérimentales construites relevant du domaine de validité de la théorie choisie. Les relations entre le modèle et la situation physique de référence sont complexes (Halbwachs, 1974 ; Tiberghien & Megalakaki, 1995), les structures internes de ces deux niveaux ne pouvant être systématiquement mises en correspondance terme à terme.

L'articulation de ces différents niveaux dans l'enseignement et plus spécifiquement dans le discours de l'enseignant, lorsqu'il introduit les connaissances, s'effectue (Johsua, 1993) :

– soit en présentant d'emblée le modèle. L'expérience est utilisée alors pour renforcer ce dernier quand il est admis ou le confirmer quand il est mis en doute par les élèves ;

– soit en utilisant en premier lieu l'expérience qui permet la monstration des phénomènes ou la transmission du modèle.

2.2. Les démarches d'introduction des connaissances

Cette dimension concerne l'aspect du discours qui est relatif aux démarches introductives des connaissances physiques, qui peuvent être induites, déduites, décrites ou imposées.

A. Weil-Barais (1993) définit le raisonnement inductif dans le cadre d'une analyse du raisonnement expérimental qui comporte trois aspects : l'énoncé des hypothèses, la recherche des informations, le traitement des informations.

Elle explicite l'induction dans la partie de l'analyse qui concerne le traitement des informations : « *Celui-ci repose sur les comparaisons qui sont faites des données correspondant aux conditions considérées. Ce traitement fait appel à des règles d'inférence ; celles-ci dépendent des informations recueillies et des présupposés retenus sur la nature des phénomènes ; c'est ce qu'on entend par induction* » (Weil-Barais, 1993, p. 495).

Pour la déduction, le sens utilisé est celui du dictionnaire « Petit Robert » : « *Procédé de pensée par lequel on conclut des propositions prises pour prémisses, à une proposition qui en résulte, en vertu de règles logiques* ».

Dans les démarches d'introduction, la sous catégorie « description » a été introduite. Elle correspond aux cas où l'enseignant décrit des objets théoriques (modèle, relation entre concepts, méthode de résolution, etc.), ou expérimentaux (constituants d'un dispositif expérimental, faits expérimentaux, etc.), en explicitant leurs différents aspects et les relations éventuelles.

On parlera enfin de l'imposition des connaissances, lorsqu'il s'agit de connaissances communiquées d'emblée, en particulier sans qu'elles soient introduites via une des trois démarches évoquées ci-dessus. Parmi ces connaissances imposées on trouve par exemple les conventions choisies arbitrairement par les physiciens eux-mêmes.

2.3. Le discours d'accompagnement

Le discours de l'enseignant ne se réduit pas strictement à l'exposé de la physique, il inclut des aspects nécessaires à la communication avec le groupe classe et à la gestion de ce groupe. Il peut avoir plusieurs fonctions telles qu'organiser le travail des élèves, attirer leur attention, les aider à comprendre par des répétitions, des rappels, des exemples, ou des injonctions, ou encore donner des règles explicites du contrat, etc.

Pour spécifier ces aspects, divers travaux portant sur les discours des enseignants ont été repris. Tout d'abord, on peut citer les travaux de Sinclair & Coulthard (1975) qui ont analysé les échanges qui se nouent en classe (solicitation, réponse, réaction, etc.) En didactique des sciences, contrairement aux recherches en pédagogie, peu de travaux se sont intéressés à l'analyse du discours de l'enseignant en classe. Nous pouvons citer surtout des travaux en didactique des mathématiques : Laborde (1982) a étudié les différents registres langagiers utilisés par l'enseignant ; Comiti et al. (1994) ont modélisé des connaissances introduites, en classe, par l'enseignant, dans le cas de la racine carrée arithmétique. Une des dimensions de leur analyse porte sur le comportement de l'enseignant face aux interventions des élèves. Celui-ci ne réplique qu'aux interventions qui sont compatibles avec son projet d'action en classe. Jossé & Robert (1993) ont analysé deux discours d'enseignants dans leur introduction de l'homothétie en seconde, en se centrant sur des parties qui ne relèvent pas strictement du domaine disciplinaire enseigné. Ces auteurs l'ont appelé : discours d'accompagnement. Nous avons repris cette notion ; elle constitue une des dimensions de notre analyse.

Nous venons de présenter différentes dimensions d'analyse du contenu d'un discours d'un enseignant : niveaux de connaissances physiques, les démarches d'introduction de celles-ci, et le discours

d'accompagnement. Ces dimensions permettent de poser les questions spécifiques suivantes visant à caractériser les discours des enseignants. À quels niveaux, théorie, modèle, et champ expérimental, un enseignant traitera-t-il les connaissances physiques ? Comment articule-t-il le modèle et l'expérience ? Avec quels types d'argumentations introduit-il les connaissances physiques ? Quelles sont les fonctions attribuées au discours d'accompagnement ?

3. ÉLABORATION D'UNE GRILLE D'ANALYSE

Les trois dimensions présentées dans le cadre théorique constituent pour nous les trois catégories principales de la grille. Les différentes sous-catégories qui leur sont associées sont présentées ci-dessous. Le tableau 1 résume cette grille.

3.1. Catégorie I : niveaux de connaissances

Elle comporte cinq sous-catégories représentant les différents niveaux de connaissances.

La théorie (E) : elle regroupe les différents aspects : paradigmes, causalité, principes et lois (par exemple : « *sachant qu'au départ eh bien il y a le fameux principe de conservation de l'énergie* »).

Le modèle (F) : ce niveau est constitué des sous-catégories : relations entre grandeurs physiques (par exemple : « *donc le rendement dans ce cas là va être donné par $-\Delta E_2/\Delta E_1$* », règles du modèle (unités, conventions, etc.), ordres de grandeurs, aspects qualitatifs des grandeurs physiques (« *alors bien sûr plus les pertes sont grandes moins bon est le rendement* »).

La situation physique (G) : cette sous-catégorie représente le champ expérimental de référence. Elle est subdivisée en trois sous-groupes : faits expérimentaux, dispositifs expérimentaux, situation relevant de la nature (par exemple : « *puisque ce qu'on veut c'est que l'objet soit soulevé* »).

L'articulation théorie-modèle-expérience (H) : cette articulation peut se faire par association

– d'un élément de la théorie à un élément du champ expérimental (par exemple : « *le réservoir c'est donc initialement la pile* ») ;

Discours d'accompagnement (DA)	Démarches d'introductions de nouvelles connaissances						Niveaux de connaissances				
	A-Induites	B-Déduites	C-Décrites	D-Imposées	E-Théorie	F-Modèle	G-Situation physique	H-Articulation modèle-expérience	I-Niveau Imprécis		
1-Etiquetage	1-Observation	1-Par calcul	1-Choses (objets/événements)	1-Nomenclature	1-Paradigme	1- Ordres de grandeurs	1-Faits expérimentaux	1-Association (ou appariement) de deux éléments	Mots ou groupes de mots qui peuvent être utilisés en physique ou en langage courant		
2-Paraphrase	2-Expérience	2-Par application de propriétés	2-Modèle	2- Définition	2-Causalité	2-Relations entre grandeurs	2-Dispositifs expérimentaux	2-Association de deux relations			
3-Questionnement	3- Traitement de données	3-Par application de modèle	3-Méthode de calcul	3-Dogme	3-Principe	3-Règles du modèle : Unité, convention	3-Situation relevant de la nature				
4-Référence : Manuel scolaire ou document		4-Par analogie		4-Convention	4-Loi	4-Aspects qualitatifs associés au modèle					
5-Contrat didactique		5-Autres		5-Appariement							
6-Investissement				6-Autres							

Tableau 1 : Grille d'analyse du discours du professeur de physique du lycée

– ou bien d'une relation dans la théorie à une relation dans le champ expérimental ou encore d'une relation dans la théorie à un élément dans le champ expérimental ou inversement (par exemple : « *puisque la pile fournit de l'énergie pour soulever le corps eh donc comme le corps va se trouver à une altitude plus grande... il a assez d'énergie sous forme d'énergie potentielle eh...* »).

Le niveau imprécis (I) : certaines formulations ne relèvent pas de l'une des quatre sous-catégories que nous venons de citer. Elles peuvent être utilisées dans le langage courant, ou dans d'autres champs disciplinaires (par exemple : le syntagme « sources d'énergie » peut être utilisé par les physiciens, les économistes et les biologistes). Quand le contexte de ces formulations ne permet pas de déterminer leur sens précis, on les classe dans cette sous-catégorie.

Ces sous-catégories sont résumées dans la grille d'analyse (tableau 1).

3.2. Catégorie II : démarches d'introduction des connaissances physiques

Cette partie concerne les démarches d'introduction des connaissances physiques. On a déjà présenté dans le cadre théorique que les connaissances peuvent être induites (A), déduites (B), décrites (C) ou imposées (D). Ces démarches constituent les sous-catégories.

La grille d'analyse avec les différentes catégories (et leurs sous-catégories) est présentée dans le tableau 1.

3.3. Catégorie III : discours d'accompagnement

Ce discours pouvant avoir plusieurs fonctions telles qu'organiser le travail des élèves, attirer leur attention, les aider à comprendre par des répétitions, des rappels, c'est par un va et vient, entre les transcriptions des discours enregistrés et la grille, que nous avons construit les sous-catégories suivantes.

L'étiquetage (DA1) : il désigne des informations que l'enseignant apporte sans commentaire ni justification telles que l'annonce des titres, de plans, de rappels, de répétitions, des références par rapport au temps (exemple : « *là aussi on y reviendra* »)

La paraphrase (DA2) : il s'agit des interventions qui explicitent de manière différente un même contenu. Ce sont des interventions qui commencent en général par autrement dit, c'est-à-dire, ça veut dire, etc.

Le questionnement (DA3) : par exemple, à travers ces questions l'enseignant demande aux élèves d'explicitier leurs idées sur une notion donnée avant qu'il ne l'introduise (par exemple : « *alors ça correspond à quoi à votre avis cet accroissement d'énergie de d'environnement ?* »), ou s'assurer qu'ils ont compris (exemple : « *vous voyez ça ? ; d'accord ?* »)

La référence aux documents (DA4) : dans certaines séquences d'enseignement que nous avons enregistrées, les enseignants se basent sur les manuels ou sur des feuilles de travail pour construire ou développer une partie du cours. Dans ce cas, l'enseignant recommande aux élèves de se référer à de tels documents (par exemple : « *mais avant tout, je voudrais vous distribuer une feuille sur laquelle on vous présente quelques exemples de bilan énergétique* »).

Contrat didactique (DA5) : il s'agit de l'explicitation de certaines règles du contrat par l'enseignant (exemple : « *... alors souvent aussi à la suite d'une telle étude on vous fera faire un calcul de rendement* »).

Investissement des productions des élèves (DA6) : cette dernière catégorie est très peu fréquente comme nous le verrons. Elle correspond à l'exploitation par l'enseignant des remarques des élèves ou de leurs questions (exemple : « *voilà c'est un petit peu ça l'idée* »).

4. MÉTHODE

4.1. Présentation

Les observations réalisées concernent l'enseignement de l'énergie en 1^{ère} S des lycées. Les enseignants observés travaillaient au sein d'un groupe de recherche-développement. Il faut noter que, dans le programme de 1^{ère} S, l'énergie occupe une place importante : environ 2/3 de la physique enseignée à ce niveau. Dans cet enseignement, l'énergie est introduite par ses propriétés : transfert, transformation et stockage, ce qui permet d'aborder simultanément plusieurs types de phénomènes (électriques, mécaniques, thermiques) (Gaidioz et al., 1998 ; Besson et al., 1998).

4.2. Données recueillies

Nous avons enregistré deux des enseignants du groupe de recherche-développement. Nous présentons les résultats qui concernent les séances d'enseignement relatives aux contenus suivants : sources d'énergie, énergie cinétique, énergie potentielle, rendement énergétique.

Avant de commencer ce cours, les enseignants ont demandé à leurs élèves de faire un travail de documentation sur les différentes sources d'énergie de leur région en les incitant à chercher en particulier dans le centre de documentation (C.D.I.) de leur lycée. Sans attendre que les élèves aient rendu ce travail, les enseignants ont traité les sources d'énergie comme les combustibles, soleil, vent, eau, noyau de l'atome, etc., et ont discuté les types d'énergie (énergie fossile, énergie solaire, énergie éolienne, énergie hydraulique, énergie nucléaire). Les enseignants ont ensuite abordé les propriétés de l'énergie (transfert, stockage et conservation) en utilisant la chaîne énergétique. Puis ils ont introduit les deux formes d'énergie, cinétique et potentielle tout en s'appuyant sur une représentation de la chaîne relative aux systèmes dans leurs états initiaux (avant), et leurs états finaux (après). Le rendement énergétique est abordé dans une étape ultérieure du cours, sa présentation utilise également la chaîne pour représenter graphiquement les différents transferts d'énergie et leur sens ; ceci facilite en particulier l'introduction des conventions utiles pour la formulation mathématique du rendement.

4.3. Catégorisation

Les enregistrements sont transcrits et découpés en unités de signification (appelées aussi interventions). Une unité de signification est un élément de discours qui porte un message précis, et ayant un sens donné, telle que la communication d'une formule, d'un symbole, d'une définition, d'une injonction, d'une question. Ces unités sont ensuite numérotées de manière à faciliter leur repérage, puis catégorisées à l'aide de la grille d'analyse du discours (tableau 1). Les trois dimensions ne sont pas exclusives. Par exemple une unité qui relève du discours d'accompagnement peut relever strictement de cette catégorie mais peut aussi comporter des connaissances. Ou encore une unité relative aux connaissances va être à la fois classée selon son niveau et la forme de sa démarche d'introduction. Différents exemples de catégorisation d'unités sont donnés dans le paragraphe suivant.

5. ANALYSE DES DISCOURS

Dans cette partie, nous présentons l'analyse détaillée des discours de deux enseignants sur l'enseignement du rendement énergétique. Nous donnons ensuite, dans l'étude comparative, les résultats d'analyse des discours menés pendant le traitement des autres contenus étudiés : les sources d'énergie, l'énergie cinétique, l'énergie potentielle.

5.1. Analyse du discours de l'enseignant 1

5.1.1. Phases du discours

Le rendement a été traité par cet enseignant en 15 minutes. Les phases principales de ce traitement sont présentées avec quelques exemples d'interventions (ou unités de signification).

(1) Introduction au rendement : l'entrée du discours se fait par une brève introduction sur l'aspect utile de l'énergie produite par un système : « *De façon générale quand vous avez un système quelconque que vous êtes en train d'étudier eh bien il est destiné à produire de l'énergie à des fins utiles* ».

Cette énergie utile est comparée avec l'énergie fournie : « *Or souvent l'énergie utile c'est le cas le plus courant est plus petite que l'énergie qui a été initialement fournie eh* ».

Cette dernière assertion est justifiée par l'enseignant : « *Donc ce qu'on utilise vraiment est souvent plus petit que ce qui a été fourni au début parce qu'il y a des pertes en cours de route* » ; il relie le rendement à ces pertes d'énergie : « *Alors bien sûr plus les pertes sont grandes moins bon est le rendement* ».

(2) Référence à l'expérience : le rendement n'est pas encore défini. Pour le faire, l'enseignant va distribuer une feuille de travail qui évoque deux expériences, l'une avec une pile et une ampoule et l'autre avec une pile reliée à un moteur, un objet étant relié à l'axe du moteur par l'intermédiaire d'une ficelle (figure 2). Ces expériences ont déjà été utilisées par les enseignants pour l'étude des propriétés de l'énergie et elles vont illustrer deux situations de calcul du rendement :

– le transfert : l'enseignant choisit, pour ce cas, l'expérience pile ampoule. Le transfert d'énergie entre l'ampoule et l'environnement se fait sous forme de rayonnement et de chaleur (figure 2a) ;

– le stockage : l'expérience « pile-moteur-objet » illustre ce cas. L'objet étant plus élevé à la fin de l'expérience qu'au début, le réservoir « objet + Terre » stocke plus d'énergie potentielle à la fin qu'au début (figure 2b).

Les élèves ont déjà construit une chaîne énergétique de ces expériences. De plus, ils disposent d'une nouvelle représentation appelée chaîne « état initial, état final » que l'enseignant leur a distribuée. Cette représentation permet de désigner, par des symboles, les bilans énergétiques des objets expérimentaux qui sont considérés comme des réservoirs d'énergie (pile, environnement, objet + Terre). La lampe et le

moteur ne sont pas représentés par cette chaîne, car ils sont considérés comme des transformateurs d'énergie. Ainsi leurs niveaux énergétiques restent constants, donc leur bilan énergétique est nul et n'intervient pas dans le calcul du rendement.

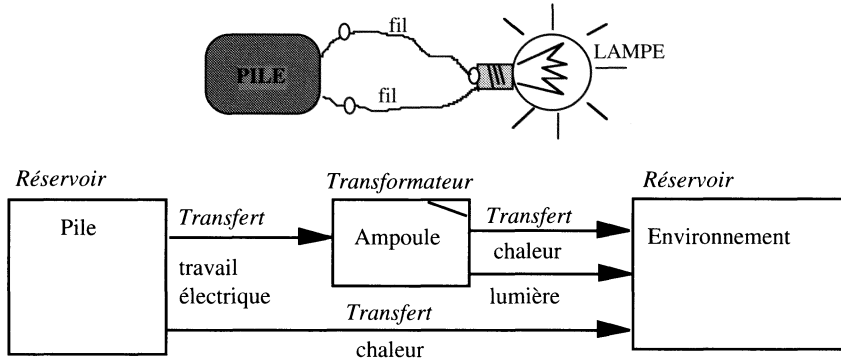


Figure 2a : **Expérience pile-ampoule**

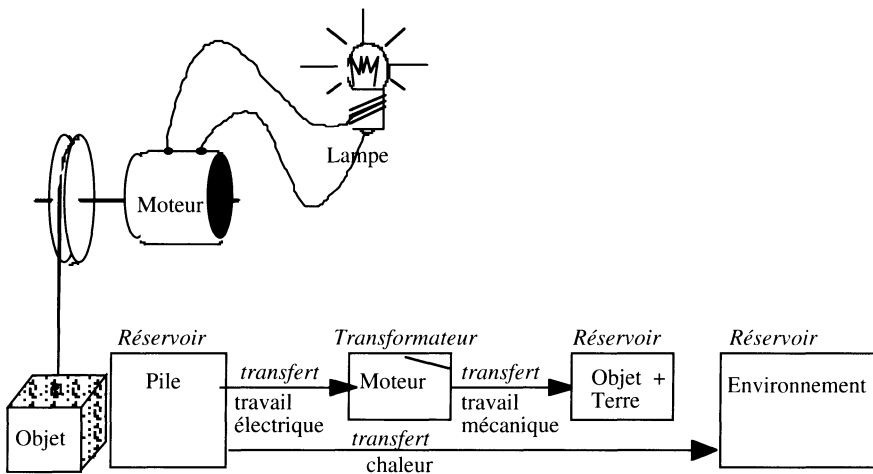


Figure 2b : **Expérience pile-moteur-objet**

Figure 2 : **Expériences et leur représentation par une chaîne énergétique**

5.1.2. Discours d'accompagnement : DA

Après avoir indiqué la part du discours d'accompagnement dans le discours global de l'enseignant 1, nous en présenterons les fonctions en utilisant les différentes sous catégories du discours d'accompagnement (voir grille tableau 1).

Pour ce cours sur le rendement effectué par l'enseignant 1, le discours d'accompagnement représente 44% des interventions totales (tableau 2).

Nombre d'interventions du discours d'accompagnement (DA)	Nombre total d'interventions	Pourcentage (%)
37	84	44

Tableau 2 : **Part du discours d'accompagnement lors du cours de l'enseignant 1 sur le rendement**

Ce discours d'accompagnement est réparti inégalement entre les différentes sous-catégories (tableau 3).

Sous-catégories du discours d'accompagnement	DA1 Etiquetage	DA2 Paraphrase	DA3 Questionnement	DA4 Référence aux documents	DA5 Contrat	DA6 Investissement	Total
Nombre d'apparitions (total : 84)	18	4	3	5	5	2	37

Tableau 3 : **Répartition des interventions lors du discours d'accompagnement de l'enseignant 1 dans les sous-catégories**

Le tableau 3 montre que l'étiquetage (DA1) est dominant (48 %). Il est exprimé sous différentes formes, où on a notamment :

- injonction (« *Vous mettrez de façon générale...* »),
- référence dans le temps (« *Alors ça /ça sera fait sur des exemples.* » ; « *Là aussi on y reviendra.* »),
- précision de cas (« *Première situation celle que l'on peut qualifier d'utile.* »),
- rappels (« *Alors je vous rappelle qu'un transformateur ne stocke pas d'énergie, il la transforme c'est tout.* »).

Les autres sous-catégories du discours d'accompagnement (questionnement, paraphrase, référence aux documents, contrat didactique) sont relativement faibles et du même ordre de grandeur (environ 10 %). En particulier l'enseignant 1 pose rarement des questions à ses élèves : seulement trois questions où il cherche à faire identifier par les élèves l'accroissement de l'énergie de l'environnement pour la situation pile-moteur-objet (« *Alors ça correspond à quoi à votre avis cet accroissement d'énergie d'environnement ?* » (DA3, F1). À cette question un des élèves répond : « *chaleur* ». L'enseignant approuve cette réponse en la commentant : « *Oui chaleur probablement eh...* » (DA6). Il pose ensuite deux autres questions où l'une cherche à faire identifier par les élèves la nature des transferts de l'énergie de la situation expérimentale (pile - ampoule) « *Alors quels sont les transferts qui sont en jeu dans un tel cas ?* » (DA3), et l'autre à faire formuler par eux une définition du rendement pour cette même situation : « *Alors comment allez-vous définir le rendement quand on utilise une ampoule ?* » (DA3). Face à ces deux questions, les élèves ne se manifestent pas aussitôt. L'enseignant continue à développer son discours tout en répondant lui-même. On trouve ainsi une interaction verbale négligeable entre l'enseignant et ses élèves, ce qui correspond à une faible proportion dans la catégorie (DA6). Par ailleurs, l'enseignant présente les connaissances tout en paraphrasant certains contenus (DA2). Il s'agit des interventions qui commencent par « *autrement dit* », « *c'est-à-dire* ». Par exemple, l'enseignant exprime le caractère utile de l'énergie d'une autre manière : « *C'est-à-dire pour faire quelque chose de tout à fait utile concret.* » (DA2).

Le discours d'accompagnement comporte aussi des références aux documents, ce qui correspond à la sous-catégorie (DA4). L'enseignant a travaillé avec les élèves sur la feuille qu'il a distribuée en décrivant le modèle chaîne « état initial et état final ». Il se réfère à cette feuille et au manuel scolaire : « *Alors vous pouvez coller ou joindre cette feuille à la suite du cours donc alors on vous signale dans cette feuille qu'on peut distinguer deux types de situations.* » (DA4).

On note que certaines règles explicites du contrat ont été évoquées par l'enseignant : « *Alors souvent à la suite d'une telle étude on vous fera faire un calcul de rendement.* » (DA5, D1, F1).

5.1.3. Les connaissances physiques introduites

Les connaissances physiques introduites par l'enseignant 1 se répartissent entre les différents niveaux de connaissances comme l'illustre le tableau 4.

Niveaux de connaissances	E Théorie	F Modèle	G Situation physique	H Articulation modèle- expérience	I Niveau imprécis	Total
Nombre d'interventions (nombre total : 84)	1	42	4	18	4	69

Tableau 4 : **Niveaux des connaissances physiques introduites par l'enseignant 1 lors du cours sur le rendement**

Les savoirs mis en jeu sont largement marqués par le niveau de connaissances modèle (F : 42 interventions sur 69). L'enseignant utilise différents aspects du modèle tels que : relations entre grandeurs, ordre de grandeurs, et règles telles que les conventions de calcul du rendement énergétique.

En ce qui concerne le niveau « H » (articulation entre modèle et expérience), qui occupe aussi une place importante (18 interventions sur 69), l'enseignant se réfère à deux expériences pour développer l'étude du rendement, et articule celles-ci de plusieurs manières avec des termes qui relèvent du modèle. On trouve ainsi dans le discours :

– l'appariement d'un élément du modèle à un élément de la situation physique : « *Le réservoir c'est donc initialement la pile* » (D5, H1) ;

– l'association de relations entre des éléments de la situation physique et des éléments du modèle : « *Puisque la pile fournit de l'énergie pour soulever le corps eh donc comme le corps va se trouver à une altitude plus grande... il a assez d'énergie sous forme d'énergie potentielle eh...* » (B3, H1). Dans cet exemple, il y a une mise en relation entre des relations internes au champ expérimental (pile, corps, altitude du corps) et des relations au niveau du modèle (énergie, variation d'énergie potentielle).

Le niveau situation physique « G » et le niveau imprécis « I » sont peu utilisés. Pour le premier, l'enseignant préfère articuler l'expérience avec le modèle que d'effectuer des interventions qui ne relèvent que de l'expérience toute seule. Pour le deuxième, son apparition est due à l'utilisation par l'enseignant du terme « énergie utile » qui peut aussi bien appartenir au langage courant qu'au modèle.

5.1.4. Les démarches d'introduction des connaissances

Le nombre d'occurrences de chacune des démarches dans le discours de l'enseignant 1 est illustré dans le tableau 5.

Démarches	A induites	B déduites	C décrites	D imposées	Total
Nombre d'interventions (nbre total : 84)	0	19	3	35	57

Tableau 5 : Nombre d'interventions des types de démarches d'introduction des connaissances pour l'enseignant 1 lors du cours sur le rendement

D'après le tableau 5, l'imposition est dominante (61 % du total des démarches). Ceci peut s'expliquer par la nature du contenu enseigné, qui comprend pour la première fois le rendement énergétique avec ses différents aspects théoriques : définition du rendement à plusieurs reprises par l'enseignant, introduction de symboles de grandeurs : « *On vous l'a appelé delta E_3* » (D_1, F_3), « *qui se lit éta.* » (D_1, F_3), introduction de conventions : « *La convention habituelle sur laquelle on va revenir un petit peu plus tard c'est que toute énergie gagnée eh par un système ou une partie du système donc ce qui est gagné... c'est gagné positivement... ce qui est perdu c'est compté négativement* ». (D_4, F_3). Mais on trouve aussi, dans cette catégorie, des interventions qui sont des associations d'un élément du modèle à un élément de l'expérience : « *Alors le réservoir c'est donc initialement la pile* » (D_5, H_1), « *Entre le transformateur et le réservoir final c'est-à-dire entre l'ampoule et l'environnement l'ampoule elle éclaire donc transfère par mode rayonnement.* » (B_3, H_1). Les connaissances déduites occupent aussi une place importante dans le discours de l'enseignant 1 (33 %). Les déductions faites par ce dernier sont en général internes au modèle. Elles sont notamment effectuées à partir de conventions ou par calcul.

5.2. Analyse du discours de l'enseignant 2

5.2.1. Phases du discours

Le rendement a été traité en cours par l'enseignant 2 en 8 minutes, ce qui représente à peu près la moitié de la durée utilisée par le premier enseignant. Les différentes phases de ce cours sont présentées ci-dessous.

Introduction des propriétés du rendement. L'enseignant commence son discours sur le rendement en précisant comment on le note, son ordre de grandeur, et le présente comme étant une grandeur sans unité.

Annnonce de la définition. Celle-ci se fait par le rapport : « *Énergie utile/Énergie fournie* ». Il faut noter que ces deux notions ne sont pas seulement des connaissances de la physique mais peuvent être utilisées

dans d'autres domaines : biologie, économie, voire même dans la vie courante.

Référence à l'expérience. À ce niveau du discours, l'enseignant évoque l'expérience, et ceci pour rendre opératoire la définition qu'il vient de donner du rendement. Il se réfère à la manipulation : pile-moteur-objet, et se propose de calculer son rendement.

Comme dans le cas de l'enseignant 1, cette manipulation est connue des élèves car ils l'ont pratiquée et en ont construit la chaîne énergétique. Ils disposent aussi de sa représentation par le modèle chaîne « état initial, état final » que l'enseignant leur a distribuée.

Dans ses interventions qui évoquent l'expérience, l'enseignant associe

– l'énergie « utile » à celle qui correspond à l'objet qui monte : « Voilà l'énergie utile c'est $\Delta E2$. » (DA6, F4) « Puisque c'est ce qu'on veut, c'est que l'objet soit soulevé. » (DA1, G1) ;

– l'énergie « fournie » par la pile : « Et l'énergie fournie c'est la pile qui la fournit. » (D5, H1) ;

Il précise le cas de l'environnement en annonçant : « Mais vous savez qu'il y a des pertes que l'environnement en a gagné un peu. » (D3, G3).

À partir de ces assertions qui précisent l'énergie utile et l'énergie fournie, et à partir de la représentation par la chaîne « état initial - état final » qui donne les symboles pour chacune de ces énergies, l'enseignant va donner aux élèves le rendement de cette situation expérimentale « ... donc le rendement dans ce cas là va être donné par $-\Delta E2 / \Delta E1$. » (B3, F2).

5.2.2. Discours d'accompagnement

Le discours d'accompagnement représente 54 % du total des interventions (tableau 6).

Nombre d'interventions du discours d'accompagnement (DA)	Nombre total d'interventions	Pourcentage (%)
39	72	54

Tableau 6 : Part du discours d'accompagnement lors du cours de l'enseignant 2 sur le rendement

Sous-catégories du discours d'accompagnement	DA1 Etiquetage	DA2 Paraphrase	DA3 Questionnement	DA4 Référence aux documents	DA5 Contrat didactique	DA6 Investissement	Total
Nombre d'apparitions (total : 72)	19	1	10	1	5	3	39

Tableau 7 : Répartition des interventions lors du discours d'accompagnement de l'enseignant 2 dans les sous catégories

D'après ce tableau, l'étiquetage (DA1) est le plus important (49% du discours d'accompagnement total). Nous constatons que cette sous-catégorie du discours d'accompagnement apparaît principalement soit sous forme d'injonctions de nature à gérer la prise de cours par les élèves : « *Vous mettez qu'il existe... vous mettez à la ligne.* », « *Vous mettez on peut recourir à la représentation suivante.* », soit pour structurer ce dernier en annonçant les différentes étapes à traiter : annonce de cas « *Il existe deux types de situations deux points...* », de titres « *Petit trois rendement énergétique* », ou d'exemples : « *Exemple, ah je mets toujours en abrégé parce que c'est un peu long : pile-moteur-objet.* »

La sous-catégorie « questionnement » vient en deuxième lieu après l'étiquetage. L'enseignant 2 pose assez fréquemment des questions à ses élèves en les incitant à confirmer la notation grecque du rendement « *Quelqu'un qui a fait du grec au collègue ? Personne sait à peu près ça ?* » (DA3) où à formuler l'expression mathématique de ce dernier, « *Qu'est ce que vous mettez au numérateur vous ?* » (DA3, F2), ou « *Quelle est l'expression du rendement ? Du « éta »... du rendement ?* » (DA3, F2). Il faut noter que ces questions posées aux élèves sont fermées, et exigent que les élèves rendent opératoire la définition du rendement transmise déjà par l'enseignant. L'investissement des réactions des élèves (DA6) par l'enseignant n'apparaît que trois fois lorsque celui-ci répond à l'une des questions des élèves ou approuve l'une de leurs réponses : « *Voilà c'est très bien.* », « *Voilà c'est un petit peu ça l'idée.* »

5.2.3. Niveaux des connaissances introduites

Il s'agit de situer les connaissances introduites par rapport aux différents niveaux de modélisation (tableau 8).

Niveaux de connaissance	E Théorie	F Modèle	G Situation physique	H Articulation Théorie- Expérience	I Imprécis	Total
Nombre d'interventions (total : 72)	1	40	5	2	2	51

Tableau 8 : **Niveaux des connaissances physiques introduites par l'enseignant 2 lors du cours sur le rendement**

Le niveau du modèle est dominant (78 % des 51 interventions relatives à l'introduction des connaissances physiques). L'enseignant transmet les connaissances relatives à ce niveau en considérant différents aspects théoriques du rendement énergétique : définition, notation, unité, convention de calcul, ordre de grandeurs, relations entre grandeurs. Par contre, le niveau situation physique « G » est faible (10 %), l'expérience n'a été évoquée qu'après l'introduction de la définition du rendement et de certains des aspects que nous venons d'évoquer. Cette expérience (pile - moteur - objet) a permis à l'enseignant de rendre opératoire cette définition en la précisant pour les élèves. Son articulation avec le modèle se fait par deux appariements entre les niveaux « F » et « G » : « ... *et l'énergie fournie c'est la pile qui la fournit.* » (D5, H1) et « *E3 c'est des pertes.* » (D5, H1). Pour le niveau « I », son apparition est due à l'utilisation par l'enseignant des notions « énergie utile » et « énergie fournie » qui peuvent être utilisées, comme on l'a déjà précisé, dans le langage courant.

5.2.4. Les démarches d'introduction des connaissances

Rappelons que, d'après la grille d'analyse, les connaissances peuvent être introduites par induction, déduction, description ou être imposées. Les résultats correspondants sont présentés dans le tableau 9.

Démarches	A induites	B déduites	C décrites	D imposées	Total
Nombre d'interventions (nbre total : 72)	0	4	5	22	31

Tableau 9 : **Nombre d'interventions des types de démarches d'introduction des connaissances pour l'enseignant 2 lors du cours sur le rendement**

On remarque que l'imposition est la démarche la plus utilisée (74%). La connaissance imposée par ce dernier est la définition du rendement :

« *Donc c'est un nombre sans dimension compris entre zéro et un défini par le rapport de deux quantités d'énergie / défini par le rapport de deux quantités d'énergie.* » (D4, F2). Les conventions sont évoquées à plusieurs reprises : « *... par convention c'est positif c'est compris entre zéro et un.* » (D4, F3) ; « *ΔE_2 est positif par convention aussi on a décidé que si un réservoir stocke de l'énergie alors on comptait ΔE_2 positivement.* » (D4, F3). L'imposition illustrée ici peut être due à la nature de ces connaissances qui ne peuvent être qu'imposées par l'enseignant. Mais elle peut être aussi due au choix de l'enseignant qui a préféré développer son discours sur des aspects théoriques du rendement. La description et la déduction sont très peu utilisées (13 %). L'enseignant utilise la première en particulier lors de l'évocation de la notation grecque du rendement (η), et ceci à deux reprises : « *C'est une espèce de n avec une longue barre... un « n » et puis vous allongez la dernière patte.* » (C1, F3). La deuxième s'est faite à partir des connaissances déjà introduites sur le rendement comme pour l'intervention : « *Puisque c'est un rendement... l'énergie c'est plus petit en haut* » (B3, F2). En effet l'enseignant avait déjà précisé aux élèves que le rendement est un rapport de deux quantités, et qu'il est inférieur à un.

6. ÉTUDE COMPARATIVE

Nous allons présenter la comparaison du discours des deux enseignants, sur de mêmes contenus. En plus de la comparaison pour le cours sur le rendement énergétique que nous venons d'analyser, nous présentons celles concernant d'autres séquences d'enseignement que nous avons enregistrées et transcrites à savoir : les sources d'énergie, l'énergie cinétique, l'énergie potentielle. Nous comparons également les discours de chacun des enseignants pour des séquences différentes.

6.1. Résultats

La comparaison de ces discours est établie à partir des résultats d'analyse obtenus pour chacun des deux enseignants en déterminant la part de chacune des sous catégories qui caractérisent leurs discours. Nous considérons que lorsque l'écart entre deux proportions correspondantes d'une même sous catégorie est autour de 10 % ou moins, le comportement des deux enseignants se ressemble. Dans le cas inverse, ils se différencient. Les résultats sont présentés d'abord graphiquement pour chaque séquence en considérant séparément les trois catégories principales des discours : discours d'accompagnement, démarches d'introduction des connaissances et les niveaux de connaissances en physique (figures 3 à 6). Nous commentons ensuite ces résultats. **Il faut noter que les proportions sont**

calculées à l'intérieur de chacun de ces trois types de discours, et non par rapport au nombre total d'interventions. Les codages correspondant aux sous-catégories sont donnés dans le tableau 1.

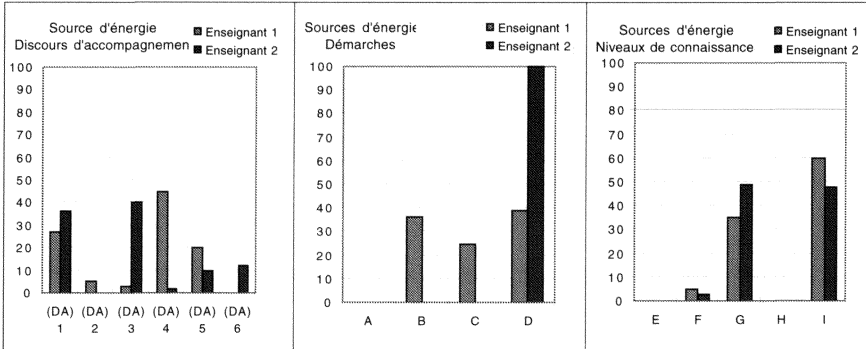


Figure 3 : Discours des enseignants dans le cas du cours sur les sources d'énergie

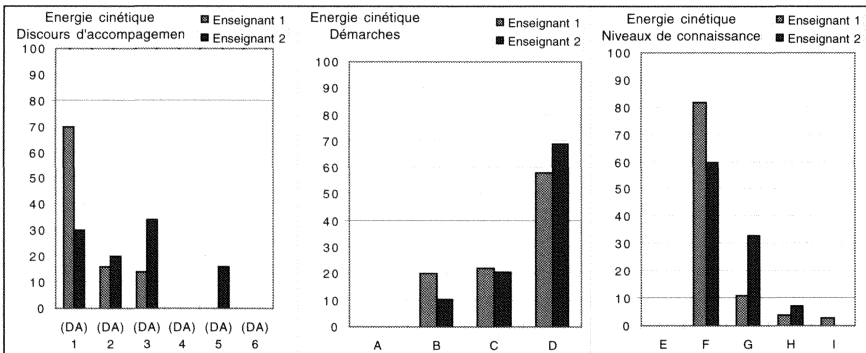


Figure 4 : Discours des enseignants dans le cas du cours sur l'énergie cinétique

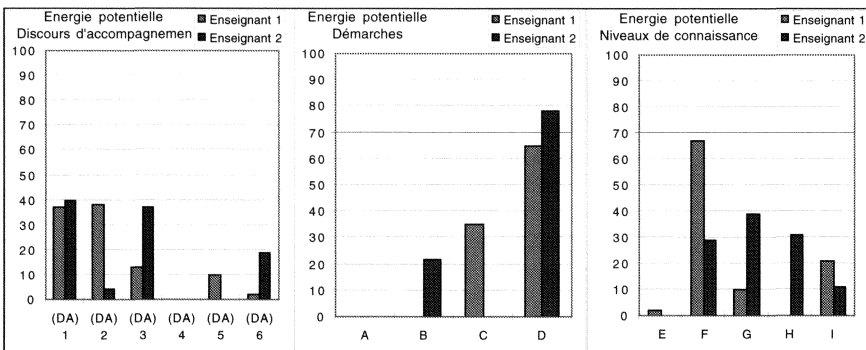


Figure 5 : Discours des enseignants dans le cas du cours sur l'énergie potentielle

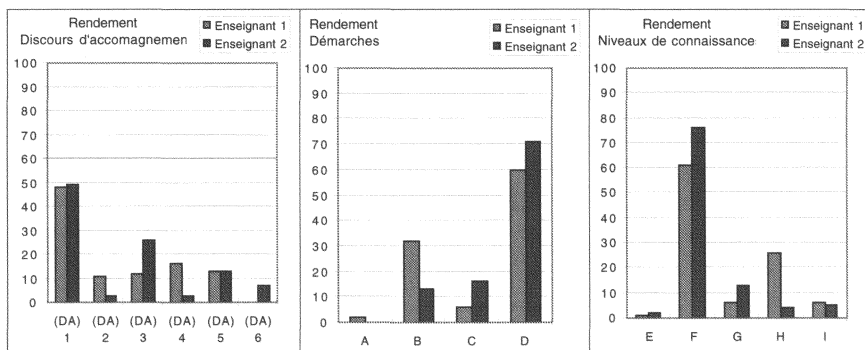


Figure 6 : **Discours des enseignants dans le cas du cours sur le rendement énergétique**

D'après les figures 3 à 6, il apparaît que pour un même enseignant les différentes sous-catégories caractérisant le discours d'accompagnement présentent sensiblement la même importance pour les quatre séquences. Ceci fait penser que ce type de discours dépendrait plus de l'enseignant que du contenu enseigné. Cette observation reste aussi valable pour les démarches d'introduction des connaissances où on peut constater par exemple que l'enseignant 1 utilise davantage la déduction que ne le fait l'enseignant 2, alors que ce dernier utilise plus l'imposition que le premier.

En ce qui concerne les niveaux de connaissances, il apparaît que les deux enseignants modulent leurs discours en fonction des contenus enseignés. Ainsi on peut constater que les discours des deux enseignants relèvent principalement des niveaux « situation physique » (G) et « imprécis » (I) pour la séquence « sources d'énergie » où les deux enseignants font appel fréquemment à des situations relevant de la nature ou de l'industrie. Pour les trois autres séquences, c'est le niveau « modèle » (F) avec ses différentes sous-catégories qui est le plus fréquent dans les deux discours.

Ainsi, il semblerait que la dimension « niveau de connaissances » du discours des enseignants dépend fortement du contenu, alors que le discours d'accompagnement et les démarches d'introduction des connaissances dépendent plus de l'enseignant.

6.2. Discussion

Nous discutons successivement les dimensions du discours de l'enseignant.

Discours d'accompagnement. D'après les résultats ci-dessus, nous pouvons constater que le discours d'accompagnement a pour fonction principale l'étiquetage pour les deux enseignants indépendamment des séquences enseignées (en moyenne plus de 42 % pour les deux enseignants). Pour les autres sous-catégories, il y a une différence entre les enseignants. La paraphrase est utilisée surtout par l'enseignant 1 et ceci d'une manière différente d'une séquence à une autre (DA2 varie de 5 % à 35 %). En revanche, le questionnement est utilisé rarement par ce dernier (en moyenne 10 %), alors que pour l'enseignant 2, cette sous-catégorie occupe une part non négligeable dans le discours d'accompagnement (en moyenne 34 %). De même l'investissement des réponses des élèves est négligeable pour l'enseignant 1 alors que pour l'enseignant 2 il est en moyenne de 9 %. La référence aux documents dépend, pour l'enseignant 1, des séquences enseignées. Ainsi dans les sources d'énergie, cette référence est abondante (45 %), alors qu'elle ne représente que 13 % du discours d'accompagnement dans le rendement énergétique, et n'est pas présente dans les deux autres séquences (énergie cinétique et énergie potentielle). Par contre pour l'enseignant 2, la référence aux documents est faible, et ceci indépendamment des séquences. Il faut noter aussi, dans le discours d'accompagnement mené par les deux enseignants, la présence des règles explicites de contrat didactique. Cependant cette explicitation est relativement faible et ne dépasse pas 20 % ; de plus, elle dépend des séquences traitées.

Démarches d'introduction des connaissances. Il apparaît que dans les séquences traitées l'imposition des connaissances par les deux enseignants est majoritaire (en moyenne 70 %). En ce qui concerne la déduction, son importance varie d'une séquence à une autre. Par exemple, pour l'enseignant 1, la déduction représente 36 % dans les sources d'énergie, mais elle n'est que de 20 % pour l'énergie cinétique. La description des modèles et des situations physiques qui interviennent dans les quatre séquences, reste présente dans toutes celles-ci, mais répartie d'une manière inégale entre elles. Le raisonnement inductif est pratiquement absent des discours des enseignants.

Niveaux de connaissances physiques. L'importance de ces niveaux varie selon les séquences quel que soit l'enseignant. Pour la séquence « source d'énergie », les discours menés par les deux enseignants sont caractérisés par l'abondance du syntagme « sources d'énergie » qui est une notion utilisée aussi bien en physique que dans d'autres domaines (biologie, économie...) Cela peut expliquer l'importance de la présence du niveau « imprécis (I) » dans les deux discours (en moyenne 55 %). Dans cette séquence, les deux enseignants réfèrent fréquemment aux situations aussi bien naturelles que de l'industrie pour évoquer les différentes sources d'énergie (soleil, combustibles, vent, nucléaire, etc.) Cette référence se

traduit dans les deux discours par la présence du niveau « situation physique (G3) » (en moyenne 43 %). Les autres séquences concernent des concepts purement physiques (l'énergie cinétique, l'énergie potentielle et le rendement énergétique). Les discours des deux enseignants deviennent riches en termes de modèle (en moyenne 70 %), et ceci au détriment des niveaux « imprécis (I) » et du niveau « G » (situation physique). Le premier (I) devient faible (en moyenne 5 %), et le deuxième est aussi assez réduit par rapport à la séquence sur les sources d'énergie (en moyenne 8 % pour l'enseignant 1 et 25 % pour l'enseignant 2). La présence de ce dernier niveau est due à ce que les concepts sont traités par les deux enseignants en se référant à des situations expérimentales. L'articulation des champs théorique et expérimental (niveau « H ») n'est significative que dans le cas du rendement énergétique pour l'enseignant 1 (21 %) et dans celui sur le cours portant sur l'énergie potentielle pour l'enseignant 2 (31 %).

7. CONCLUSION

Le travail que nous venons de présenter permet de caractériser les discours d'enseignants. Il apparaît que les deux enseignants observés n'ont pas développé les mêmes discours pour le traitement de mêmes séquences préparées en commun. Les deux discours d'accompagnement sont marqués par une présence importante de l'étiquetage. Ceci a permis aux enseignants de structurer leurs cours en explicitant à chaque fois les titres de paragraphes, les cas à traiter, les exemples à illustrer. L'importance des autres sous catégories dépend des enseignants. En particulier l'enseignant 2 pose plus fréquemment des questions à ses élèves que l'enseignant 1. En ce qui concerne les démarches d'introduction des connaissances physiques, l'imposition est la plus utilisée par les deux enseignants. Le raisonnement déductif se présente de manière significative par l'enseignant 1 seulement. Les autres modes d'introduction (description et induction) sont faibles dans les deux discours. Concernant les niveaux de connaissances physiques, les deux enseignants se différencient de manière significative pour le niveau articulation des niveaux modèle – situation physique « H ». En effet, nous avons pu constater lors de l'analyse des différentes phases des deux discours, que les enseignants n'ont pas effectué de la même façon l'expérience évoquée. Par exemple, l'enseignant 1 s'est fondé sur l'expérience pour définir le rendement, et a articulé de plusieurs manières des éléments du modèle et les deux situations expérimentales évoquées (pile-ampoule et pile-moteur-objet). Par contre l'enseignant 2 a utilisé d'emblée la définition du rendement ainsi que certaines de ses propriétés avant de se référer à l'expérience, ce qui lui a permis de rendre cette définition opératoire. En plus une seule expérience

a été utilisée par cet enseignant (pile-moteur-objet).

Dans ce travail nous avons construit une méthode d'analyse du discours des enseignants en classe de physique en prenant en considération différentes dimensions qui peuvent intervenir en classe de physique : niveaux de connaissances physiques, démarches d'introduction de celles-ci et discours d'accompagnement. Cette méthode a permis de discriminer les discours (étiquetage, questionnement, types de raisonnement, articulation de la théorie et de l'expérience, etc.) suivant les séquences pour un même enseignant et suivant l'enseignant pour une même séquence. Une telle méthode pourra permettre d'étayer des hypothèses pour des recherches relatives aux enseignants, en particulier les liens entre la présentation des connaissances par l'enseignant et son épistémologie relative à sa discipline et celle relative à l'apprentissage. Notre méthode peut aussi aider à établir des liens entre le discours de l'enseignant et l'activité effective des élèves.

BIBLIOGRAPHIE

- BESSION G., CLAVEL C., GAIDIOZ P. & TIBERGHIE N. A. (1998). Enseignement de l'énergie : expérimentation du nouveau programme de physique et de chimie en première S. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 803, pp. 605-621.
- BRICKHOUSE N.W. (1990). Teachers' beliefs about the nature of science and their relationship to classroom practice. *Journal of Teacher Education*, vol. 6, n° 3, pp. 53- 62.
- COMITI C., GRENIER D. & MARGOLINAS C. (1994). Différents niveaux de connaissances en jeu lors d'interactions en situation de classe et modélisations de phénomènes didactiques liés à ces interactions. In G. Arzac, J. Gréa, D. Grenier & A. Tiberghien (Éds), *Différents types de savoirs et leur articulation*. Grenoble, La Pensée sauvage, pp. 93-128.
- DÉSAUTELS J. & LAROCHELLE M. (1994). *Étude de la pertinence et de la viabilité d'une stratégie de formation à l'enseignement des sciences*. Rapport de recherche présenté au conseil des recherches en sciences au Canada. Laval, Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval.
- GAIDIOZ P., MONNERET A., TIBERGHIE N. A., BESSION G., CLAVEL C., COLLET G., LE MARÉCHAL J.-F. & ROBINAULT K. (1998). *Enseignement de l'énergie en classe de première S (documents A et B)*, « Appliquer le programme ». Lyon, CRDP de Lyon.
- GUILBERT L & MELOCHE D.(1993). L'idée de science chez des enseignants en formation : un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions ? *Didaskalia*, n° 2, pp. 7- 30.
- GUNSTONE R.F. & WHITE R.T. (1998). Teachers' attitudes about physics classroom practice. In A. Tiberghien, E.L. Jossem & J. Barojas (Éds), *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. [http://www.physics.ohio-sate.edu/~ jossem/ICPE/BOOKS.html](http://www.physics.ohio-sate.edu/~jossem/ICPE/BOOKS.html).
- HALBWACHS F. (1974). *La pensée physique chez l'enfant et le savant*. Genève, Delachaux et Niestlé.
- JOHSUAS. & DUPIN J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.
- JOSSÉ E. & ROBERT A. (1993). Introduction de l'homothétie en seconde, analyse de deux

- discours de professeurs. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 13, n° 1-2, pp.119-154.
- LABORDE C. (1982). *Deux codes en interaction dans l'enseignement des mathématiques : langue naturelle et écriture symbolique*. Thèse d'État, Université de Grenoble I.
- ROBARDET G. (1995). *Didactique des sciences physiques et formation des maîtres : contribution à l'analyse d'un objet naissant*. Thèse de didactique des sciences physiques, Université de Grenoble 1.
- SINCLAIR J.M. & COULTHARD R.M.(1975). *Towards an Analysis of discourse : The English used by teachers and pupils*. London, Oxford University Press.
- TIBERGHIE A. (1994). Modeling as a basis for analysing teaching-learning situations. *Learning and instruction*, vol. 4, n° 1, pp. 71- 87.
- TIBERGHIE A. & MEGALAKAKI O. (1995). Contribution to a characterisation of a modelling activity in the case of a first qualitative approach of energy concept. *European Journal of Psychology of Education*, vol. 10, n° 4, pp. 369- 383.
- WALLISER B. (1977). *Systèmes et modèles, introduction critique à l'analyse des systèmes*. Paris, Seuil.
- WEIL-BARAIS A. (1993). *L'homme cognitif*. Paris, PUF.

La propagation des ondes en dimension 3 : analyse des difficultés des étudiants quant au modèle géométrico- ondulatoire

Analysis of students' difficulties on the wave geometrical model of three dimensional waves

Laurence MAURINES

IUFM de Créteil, LDPEs
Université Denis Diderot Paris 7, case 7086
2, place Jussieu
75251 Paris cedex 05, France.

Résumé

Cet article analyse la manière dont les étudiants utilisent les concepts de « rayon » et de « surface d'onde » ainsi que le principe de Huygens-Fresnel pour décrire, expliquer et représenter graphiquement des situations où une onde (sonore ou lumineuse) se propage selon plusieurs directions (propagation, réflexion, diffraction). Pour les deux types d'onde, on note les mêmes tendances vers un raisonnement de type géométrique et mécaniste, vers une réduction du nombre de variables, vers une matérialisation des concepts. Quelques remarques sur des livres scolaires ou de vulgarisation et quelques propositions pédagogiques sont faites.

Mots clés : *raisonnement commun, université, rayon, surface d'onde, principe de Huygens-Fresnel.*

Abstract

This paper analyses the difficulties encountered by students while learning propagative wave phenomena in a three dimensional medium. Two types of waves (sound, light) and three types of situations (propagation in an open space, reflection, diffraction) are considered. The main question explored concerns the ways students use the concepts of « ray » and « wave surface » as also the Huygens-Fresnel principle when drawing their ideas. Three tendencies are shown to recur : a geometric and mechanistic reasoning, a reduction in the number of variables, a materialization of concepts. Some school text-books have been analysed and some pedagogical implications are discussed.

Key words : *common reasoning, university, ray, wave surface, Huygens-Fresnel principle.*

Resumen

Este artículo analiza la manera como los estudiantes utilizan los conceptos de « rayo » y de « superficie de onda », así como el principio de Huygens-Fresnel, para describir, explicar y representar gráficamente situaciones donde una onda (sonora o luminosa) se propaga en diferentes direcciones (propagación, reflexión, difracción). Para los dos tipos de onda, se nota la misma tendencia hacia un razonamiento de tipo geométrico y mecánico, y una reducción del número de variables, así como una materialización de los conceptos. Se plantea en el mismo algunas observaciones a los libros escolares o de vulgarización y se proponen algunas proposiciones pedagógicas.

Palabras claves : *razonamiento común, universidad, rayo, superficie de onda, principio de Huygens – Fresnel.*

1. INTRODUCTION

Depuis une vingtaine d'années, de nombreuses études, inspirées par les travaux de Bachelard (1938) et Piaget (1941), ont montré qu'une large fraction des apprenants partageait, en marge du savoir scientifique enseigné, des conceptions et des modes de raisonnement « spontané » ou « naturel », c'est-à-dire non appris en tant que tels à l'école, au lycée ou à l'université. Issus de l'expérience quotidienne mais aussi, dans certains cas, résultats d'un passé scolaire, ces conceptions et raisonnements contredisent fréquemment la science enseignée, se révèlent sur certains points très résistants à l'enseignement et partagés à un degré divers par tout le monde. Si, aujourd'hui, suite à une vision constructiviste de l'apprentissage, il existe un consensus sur la nécessité de tenir compte dans l'enseignement de ces raisonnements « communs », il y en a peu sur

les moyens de le faire. Cette étude s'inscrit dans une perspective constructiviste de l'apprentissage décrite par Viennot de la manière suivante : « *Seule la confrontation permanente du formalisme et du réel construit une authentique pratique scientifique... Cette prise de conscience et cette confrontation sont deux démarches personnelles et actives dont l'étudiant ne peut faire l'économie... Il reste que l'enseignant ne peut stimuler ses étudiants dans cette voie qu'à deux conditions : avoir lui-même une connaissance sûre de la démarche spontanée déclenchée par telle ou telle situation physique et trouver les moyens d'en avertir les étudiants* » (Viennot, 1979, p. 151). Le principal objectif du travail que nous menons dans le domaine des « ondes » est donc de contribuer à une meilleure connaissance des difficultés des étudiants et de leur raisonnement spontané afin de permettre aux enseignants de leur en renvoyer l'image et de les conduire à s'en rendre maîtres.

L'étude que nous présentons ici porte sur les difficultés soulevées par **la modélisation géométrico-ondulatoire** de la propagation d'une onde dans un milieu de dimension 3 en présence ou non d'obstacles. Cette modélisation est basée sur les concepts de **rayon** et de **surface d'onde** ainsi que sur le principe de **Huygens-Fresnel**. Cette étude vise à savoir, d'une part, dans quelles situations les élèves et les étudiants utilisent ces concepts et ce principe, et d'autre part, comment ils le font. Après avoir précisé la problématique et la méthodologie de cette étude, nous en donnerons les résultats ainsi qu'une première analyse. La discussion qui suivra montrera que les représentations graphiques « communes » des phénomènes sonores et lumineux, bien que différentes, révèlent toutes deux des tendances vers un raisonnement de type géométrique et mécaniste, vers la matérialisation des concepts ainsi que la simplification des phénomènes et des théories. Quelques remarques sur les programmes du secondaire, les manuels scolaires et les ouvrages destinés au grand public révéleront que les pratiques enseignantes et de vulgarisation ne peuvent que renforcer ces caractéristiques du raisonnement « commun ». Nous concluons par quelques propositions pédagogiques.

2. PROBLÉMATIQUE

2.1. Objectif général

Nous avons choisi les ondes comme thème général de recherche car c'est un domaine de la physique très peu exploré par la didactique et connu des enseignants et des étudiants comme difficile à enseigner et à comprendre. Notre objectif est d'analyser les principales tendances de raisonnement observées dans des groupes d'élèves et d'étudiants

relativement variés afin d'en proposer un « modèle », c'est-à-dire une description organisée, aussi synthétique et prédictive que possible. Bien que ces tendances ne se manifestent pas toujours majoritairement (cela dépend beaucoup des situations physiques proposées et du mode de questionnement), nous supposons qu'elles sont susceptibles d'intervenir, à un moment ou à un autre, dans le raisonnement de tout apprenant. Des tendances différentes, voire contradictoires entre elles peuvent coexister sans que cela ne gêne l'apprenant. La problématique et la méthodologie orientant notre travail s'inscrit dans un cadre décrit de manière détaillée par Closset (1983).

2.2. Thèmes spécifiques de l'étude

Alors que dans nos recherches précédentes (Maurines, 1986, 1992, 1993) nous avons analysé les difficultés soulevées par la propagation des signaux selon **une** direction (propagation d'un signal « visible » tel qu'un signal transversal sur une corde, propagation d'un signal « invisible » tel qu'un son dans l'air), nous nous intéressons ici à celles soulevées par la propagation d'une onde selon **plusieurs** directions.

Une première enquête exploratoire portant sur le son a débuté dès 1991, motivée tant par l'absence de travaux dans le domaine que par la part importante que l'étude du son allait prendre dans les nouveaux programmes français du secondaire à la rentrée de 1993. Les résultats de cette enquête exploratoire et ceux d'une étude menée parallèlement sur les concepts de phase et de surface d'onde (Maurines, 1995) nous ont alors conduits à élargir le domaine d'étude à la lumière à des fins de comparaison et à focaliser une partie de la recherche sur les représentations graphiques d'un phénomène ondulatoire en dimension trois.

Le bilan que nous présentons ici répond aux quatre questions suivantes.

Comment les étudiants dessinent-ils des phénomènes ondulatoires se produisant dans un milieu à trois dimensions quand on leur demande de les décrire et de les expliquer ? Utilisent-ils des rayons, des surfaces d'onde, ou bien autre chose ? Quelle est la signification de leur dessins ?

Les dessins et explications des étudiants dépendent-ils du type d'onde (son ou lumière) ?

Les dessins et explications des étudiants dépendent-ils de la situation étudiée (propagation dans un milieu illimité, réflexion, diffraction) ?

À quelle(s) théorie(s) (géométrique ou/et ondulatoire) les étudiants associent-ils les concepts de rayon et de surface d'onde ?

2.3. Quelques remarques sur les théories utilisables pour l'étude des ondes en dimension trois

Il existe deux théories pour étudier les ondes : la théorie géométrique et la théorie ondulatoire.

Dans la théorie géométrique, rien n'est dit sur la nature de l'énergie qui se déplace (onde ou particule) mais son trajet peut être prévu. La théorie géométrique s'appuie sur les concepts de rayon de propagation de l'énergie et de surface d'onde. Ces surfaces sont qualifiées de géométriques et définies en référence à une grandeur appelée « chemin » et comptée le long des rayons. Elles sont déterminées par l'équation eikonale, traduction mathématique du théorème de Malus disant que les surfaces d'onde sont toujours orthogonales aux rayons (Frank et al., 1974).

Dans la théorie ondulatoire, l'onde est dite correspondre à la modification de deux champs (champs électrique et magnétique dans le cas de la lumière, champs de surpression et de vitesse vibratoire dans le cas du son). Ces champs vérifient une équation différentielle du deuxième ordre appelée « équation de propagation » et des conditions aux limites. Dans le cas d'une onde progressive monochromatique, le concept de phase est introduit, et, en dimension trois, sont définis des surfaces équiphases et des rayons de propagation de la phase, des surfaces d'onde et des rayons de propagation de l'énergie.

Dans beaucoup de situations où l'onde est localement plane, la connaissance d'un seul champ suffit. Les surfaces d'onde coïncident alors avec les surfaces équiphases et les rayons de propagation de l'énergie avec les rayons de propagation de la phase. Les surfaces d'onde « ondulatoires » et les rayons de propagation de l'énergie sont alors orthogonaux entre eux et coïncident avec les surfaces d'onde et rayons de la théorie géométrique. Dans ce type de situations, une théorie ondulatoire « approchée » peut être utilisée. Nous avons choisi de l'appeler modèle « **géométrico-ondulatoire** », car basé sur le principe de superposition des amplitudes des ondes émises par des sources réelles ou fictives d'une surface d'onde (principe de Huygens-Fresnel), il s'appuie à la fois sur les concepts de champ et de phase propres à la théorie ondulatoire et sur ceux de rayon et de surface d'onde communs aux deux théories.

Il y a trois différences essentielles entre la modélisation géométrique de la théorie géométrique et celle de la théorie ondulatoire « approchée ».

La théorie géométrique décrit directement ce qui se passe à un niveau macroscopique avec des rayons de propagation de l'énergie et des surfaces d'onde orthogonales à ces rayons alors que la théorie ondulatoire

« approchée » le reconstruit : il est le résultat de la superposition d'ondes émises à un niveau « microscopique » par des sources réelles ou fictives (sources de Huygens).

Les rayons de propagation de l'énergie de la théorie géométrique sont des courbes qui ne dépendent que du milieu et ce localement par l'intermédiaire de l'indice et ne dépendent pas de la fréquence de l'onde (si l'on néglige la dispersion du milieu). Ce n'est pas le cas des rayons de la théorie ondulatoire : ceux-ci dépendent en plus de l'environnement d'un point donné du milieu (par exemple, de la taille d'une ouverture) et de la fréquence de l'onde.

Pour obtenir l'intensité d'une onde dans la théorie géométrique, il suffit d'utiliser la conservation du flux énergétique dans un faisceau et d'ajouter les intensités des ondes émises par les sources réelles (photo et acoustométrie) alors que dans la théorie ondulatoire, il est nécessaire de passer à un niveau « microscopique » et d'ajouter les amplitudes des ondes.

Il existe trois types de situations : les situations géométriques pour lesquelles la théorie géométrique suffit pour comprendre le niveau macroscopique (propagation, réflexion et réfraction), les situations ondulatoires et géométrico-ondulatoires pour lesquelles il est nécessaire de faire appel à une théorie ondulatoire « exacte » ou « approchée » (diffraction, interférences, ondes stationnaires, etc.) La théorie ondulatoire conduit aux mêmes résultats que la théorie géométrique lorsqu'elle est appliquée à des situations géométriques et à des résultats pouvant s'interpréter comme perturbation de cette théorie si elle est appliquée aux situations géométrico-ondulatoires, la théorie géométrique étant une approximation de la théorie ondulatoire. En effet, l'équation eikonale se déduit de l'équation de propagation des champs par passage à la limite, en considérant que l'amplitude des champs varie peu sur une distance de l'ordre de la longueur d'onde. Dans cette interprétation ondulatoire de la théorie géométrique, l'équation eikonale est une équation de propagation de la phase.

Ce qui permet de caractériser une situation est l'ordre de grandeur de la longueur d'onde devant les dimensions mises en jeu dans la situation. Dans les situations géométriques et géométrico-ondulatoires, on est en champ lointain et en présence d'obstacles, d'interfaces dont les dimensions sont « grandes » devant la longueur d'onde et les irrégularités de surface « petites ». Dans le premier cas, l'amplitude des champs varie peu sur une distance de l'ordre de la longueur d'onde, dans le second cas elle varie trop pour être négligée. La différence essentielle entre ces deux types de situations est que les **rayons de propagation de l'énergie sont**

indépendants dans les situations géométriques alors qu'ils ne le sont pas dans les situations géométrico-ondulatoires : une suppression d'une partie des rayons d'énergie n'entraîne pas de modification des autres rayons d'énergie dans le premier cas alors qu'il en entraîne une dans le second. De plus, dans les situations géométriques, l'intensité de l'onde n'est pas modulée alors qu'elle l'est dans les situations géométrico-ondulatoires (franges brillantes et sombres d'interférence).

Dans les annexes 1 et 2, des tableaux récapitulent ce qui vient d'être dit. Dans l'annexe 3, sont regroupées les représentations graphiques portant d'une part sur le niveau macroscopique de deux situations géométriques (propagation, réflexion) et d'une situation géométrico-ondulatoire (diffraction) et d'autre part sur le niveau « microscopique » de la situation de diffraction.

2.4. Quelques remarques sur l'enseignement des ondes

En France, jusqu'à la rentrée scolaire de 1993, les ondes étaient abordées pour la première fois en classe de première scientifique (âge moyen des élèves : 17 ans). Le programme de cette classe daté de 1988 n'était pas focalisé sur un type d'onde particulier. Il demandait de mener l'étude des ondes « invisibles » (son et lumière) en liaison avec l'étude des ondes mécaniques « visibles » (ondes se propageant sur une corde, un ressort, à la surface de l'eau). Il abordait successivement l'étude de la propagation, de la réflexion et de la transmission, de la diffraction et des interférences. Les concepts de rayon de propagation et de surface d'onde étaient introduits. À propos de la surface d'onde, le programme soulignait l'intérêt de la cuve à ondes, celle-ci permettant de montrer des ondes circulaires ou rectilignes. Le programme comportait également une partie d'optique géométrique portant sur les lois de la propagation rectiligne, de la réflexion et de la réfraction.

Depuis la rentrée de 1993, les ondes sont abordées pour la première fois dans une classe généraliste, la seconde (âge moyen des élèves : 16 ans). On débute par le son et poursuit par la lumière. L'étude de la propagation du son est faite selon une direction et s'appuie sur les concepts de fréquence, longueur d'onde et vitesse de propagation. Le concept de surface d'onde n'est pas introduit et l'étude de la réflexion utilise celui de rayon sonore. Dans la partie sur la lumière, les lois de l'optique géométrique sont introduites. Depuis la rentrée de 1995, la diffraction et les interférences lumineuses sont abordées dans une classe préparant à un baccalauréat scientifique, la terminale S (âge moyen des élèves : 18 ans). Aucune formalisation mathématique des phénomènes n'est faite. Les

élèves doivent savoir que l'existence du phénomène de diffraction est lié au rapport de la dimension de l'ouverture à celle de la longueur d'onde et expliquer le phénomène d'interférences comme résultant de la superposition constructive et destructive de deux ondes en un point.

Contrairement à ce qui se passe dans l'enseignement secondaire, il n'existe pas, dans l'enseignement supérieur, un programme officiel commun aux différentes universités scientifiques. C'est à ce niveau que le concept de phase et le principe de Huygens-Fresnel sont introduits. La formalisation des phénomènes dépend du niveau d'enseignement et de la filière suivie. Pour la majorité des étudiants interrogés dans nos enquêtes, il semble que l'optique ait toujours fait partie de leur cursus universitaire contrairement à l'acoustique, et que, si les théories géométrique et ondulatoire ont été abordées dans le cas de la lumière, seule la deuxième l'a été dans le cas du son.

3. MÉTHODOLOGIE

À la suite de l'enquête exploratoire sur le son précédemment citée (une première série de questionnaires portant, entre autres, sur ce qui arrive au son émis par un violoniste dans différentes situations), nous avons émis des hypothèses quant à l'utilisation par les étudiants des concepts de rayon et de surface d'onde, quant au principe de Huygens-Fresnel. Nous avons cherché à valider ces hypothèses de deux façons. D'une part, nous avons rédigé un questionnaire de type Q.C.M. portant sur les concepts et lois utilisés en optique géométrique et ondulatoire. D'autre part, nous avons mis au point une deuxième série de questionnaires portant sur les représentations graphiques de six phénomènes ondulatoires différents. Trois situations de l'enquête exploratoire ont été reprises et utilisées aussi bien pour le son que pour la lumière (propagation en milieu illimité, propagation face à un plan réfléchissant, propagation à travers une « petite » ouverture). Pour pouvoir comparer les réponses fournies aux différents questionnaires, les situations ont été présentées de manière très voisine et les questions ont eu des libellés très proches : « *Expliquez ce qui arrive au son (ou à la lumière). Représentez ce qui se passe sur le schéma ci-dessus en précisant bien ce que vous dessinez* ». Bien que les phénomènes auxquels nous nous intéressions étaient à trois dimensions, nous avons été conduits, pour des raisons pratiques, à analyser des représentations graphiques à deux dimensions. Cela n'enlève rien aux tendances de raisonnement dégagées.

La population interrogée est d'environ 340 élèves ou étudiants ayant suivi un enseignement sur les ondes. Nous désignerons par E_1 la

population âgée de 17 à 19 ans et ayant suivi uniquement un enseignement de niveau secondaire (170 élèves de première ou terminale scientifiques, étudiants ayant un baccalauréat scientifique et en début de premier cycle universitaire ou de classe préparatoire aux grandes écoles) et par E₂ la population âgée de 20 à 23 ans et ayant suivi également un enseignement de niveau supérieur (170 étudiants scientifiques, en classes préparatoires aux grandes écoles, à l'université en licence ou en préparation à un concours pour devenir professeur de physique et chimie dans le secondaire). La nature et l'effectif des populations interrogées à chaque questionnaire n'ont pas permis, à cette étape de la recherche, de faire une analyse comparative systématique des résultats en fonction du niveau et du type d'enseignement suivi. Sur les points évoqués ci-après et pour lesquels il n'y a pas de différence significative entre les réponses fournies par les deux types de population, les résultats ont été regroupés.

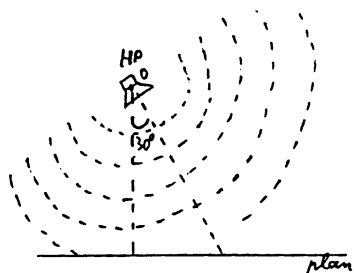
Les réponses des étudiants ont d'abord été analysées questionnaire par questionnaire. L'effectif de la population interrogée à chaque questionnaire n'étant pas toujours suffisamment élevé, les pourcentages des différentes réponses ne peuvent être interprétés qu'en tant que tendances majoritaires ou minoritaires. Un pourcentage de 20% de réponses erronées après enseignement peut être le signe d'une difficulté s'il était légitime d'attendre un pourcentage nul ; il en est de même d'un pourcentage faible de réponses correctes.

Les résultats obtenus à l'ensemble des questionnaires ont ensuite été confrontés. L'interprétation que nous en donnons met en lumière les grandes lignes d'un raisonnement « commun » sur les ondes en dimension trois et sur leur représentation graphique. Elle trouve sa justification, non pas dans le nombre de réponses obtenues à une question particulière, mais dans le fait qu'elle donne sens et cohérence à nos résultats.

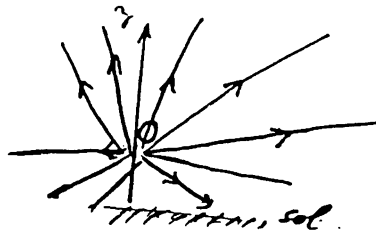
Nous n'entrons pas ici dans une analyse exhaustive des résultats obtenus, notamment en ce qui concerne la diffraction (pour plus de détails, voir Maurines, 1997) et la réflexion sonore. On trouvera en annexe les énoncés schématisés des questionnaires portant sur les représentations graphiques des phénomènes sonores et lumineux ainsi qu'un tableau récapitulatif de résultats. Le total ligne n'est pas toujours égal à 100 car les pourcentages des non-réponses et des réponses n'ayant pas pu être codées ne sont pas indiqués. Nous illustrerons la présentation des résultats par des exemples significatifs de réponses d'étudiants. Pour une meilleure lisibilité, certains commentaires accompagnant les dessins ont été dactylographiés.

ENCADRÉ 1

Exemples de réponses d'étudiants représentant différemment le son et la lumière



« Propagation des ondes selon des surfaces d'ondes. »



« Tous les rayons émis par la source lumineuse ont la même vitesse car température identique partout. »

Figure 1 : Étudiant E₂ (lumière → son)))

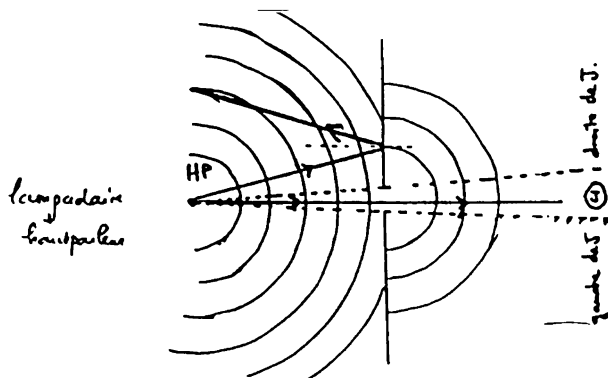
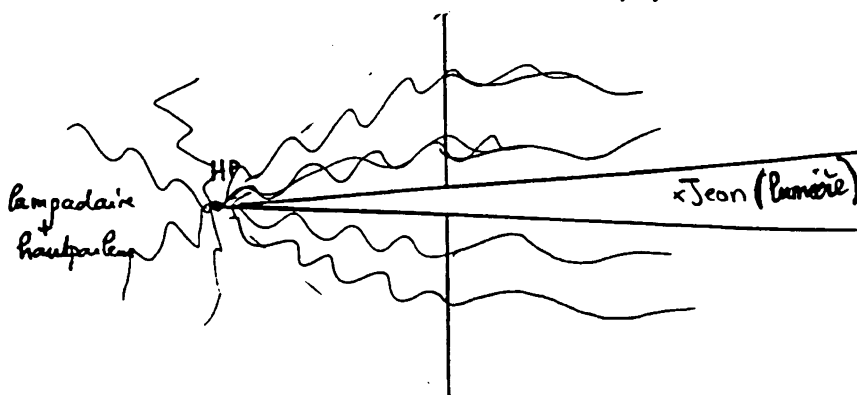


Figure 2 : Étudiant E₁ (lumière → son)))



« Jean peut se trouver partout car le son se diffuse en ondes et n'est pas **rectiligne**. »

Figure 3 : Étudiant E₂ (lumière → son ~~~)

4. RÉSULTATS

4.1. Les étudiants, les concepts de rayon et de surface d'onde et les théories de la lumière

Alors que les concepts de rayon et de surface d'onde interviennent dans les théories géométrique et ondulatoire de la lumière, une majorité d'étudiants E_2 (75%, $N=33$) pensent que le concept de **rayon** est réservé à la **théorie géométrique** et celui de **surface d'onde** à la **théorie ondulatoire** (réponse obtenue à un questionnaire demandant dans quelle(s) théorie(s) ces concepts sont utilisés). Quand il s'agit de préciser ce que chacune de ces théories dit de la lumière, une majorité d'étudiants associe la théorie géométrique à la propagation rectiligne et la théorie ondulatoire à l'existence d'un champ électromagnétique ou d'une onde (respectivement 65% et 85% des étudiants). Un seul étudiant indique que la théorie géométrique ne s'intéresse pas à la nature physique du transport d'énergie et 19% des étudiants insistent à propos de la théorie ondulatoire sur l'aspect périodique ou vibratoire du phénomène. Aucun étudiant ne précise que la théorie géométrique peut être obtenue à partir de la théorie ondulatoire par passage à la limite et qu'elle aussi concerne les ondes. Aucun ne met l'accent sur le fait que la théorie géométrique décrit ce qui se passe à un niveau macroscopique alors que la théorie ondulatoire le reconstruit à partir d'un niveau « microscopique ».

4.2. Les représentations graphiques de la propagation du son et de la lumière données par les étudiants

Alors que tous les phénomènes ondulatoires autres que ceux qui sont non propagatifs (ondes stationnaires) peuvent être représentés à l'aide de rayons et de surfaces d'onde, les étudiants E_1 et E_2 dessinent majoritairement des « **rayons** » pour la propagation de la **lumière** et des « **surfaces d'onde** » pour la propagation du **son**. Il existe par ailleurs des étudiants (surtout parmi la population E_2) qui dessinent des sinusoïdes dans le cas du son, c'est-à-dire qui donnent un type de représentation renvoyant aux graphes spatiaux et temporels d'une onde progressive sinusoïdale et notamment aux courbes visualisées à l'oscilloscope (tableau 1 de l'annexe 4). Cette différence entre les représentations graphiques de la propagation du son et de la lumière se retrouve de manière moins accentuée dans les situations de réflexion et de diffraction (tableaux 2 et 3 de l'annexe 4). Sur les exemples de dessins et de justifications donnés à l'encadré 1, il est à noter l'insistance de certains étudiants sur le fait que la lumière se propage en ligne droite et que le son se propage comme une onde.

Ces résultats pourraient laisser penser que lorsque les étudiants représentent des surfaces d'onde ou des sinusoïdes, ils mettent l'accent sur l'aspect ondulatoire du phénomène. La question se pose de savoir ce que signifie la différence de traitement entre la lumière et le son. Nous allons voir dans ce qui suit qu'elle n'est qu'apparente.

4.3. Pour les étudiants, la surface d'onde sonore n'est pas une surface équiphasé

4.3.1. Les étudiants relient une caractéristique des « surfaces d'onde » à l'intensité de l'onde

Le phénomène de propagation se traduit par le fait que le champ caractérisant l'onde dépend d'une fonction couplant l'espace et le temps : la phase de l'onde. Par exemple, dans le cas de la propagation tridirectionnelle d'une onde sinusoïdale émise par une source ponctuelle dans un milieu non dissipatif et non dispersif, la phase de l'onde est du type « $\omega t - kr$ ». Alors que cette phase ne dépend pas de la valeur du champ propagé, nous avons montré que, pour les étudiants, elle en dépend (Maurines, 1995). Ceci se manifeste notamment dans les réponses à une question demandant d'indiquer la méthode à utiliser pour déterminer expérimentalement une surface d'onde sonore, c'est à dire dans les situations étudiées une surface équiphasé. Pour 61% de 49 étudiants E_2 , une surface d'onde est soit une surface **isoamplitude** soit, à la fois, une surface isoamplitude et une surface équiphasé.

Dans la recherche que nous présentons ici, ce lien entre la surface d'onde et l'intensité de l'onde réapparaît sur 16% des dessins des 31 étudiants E_1 . L'écartement des cercles (figure 1 de l'encadré 2), le nombre ou la longueur des arcs de cercle (figures 2 et 3 de l'encadré 2) représentant les surfaces d'onde varient avec l'intensité sonore. Si les dessins fournis par les étudiants E_2 ne font pas apparaître ce lien, ce n'est pas le cas de certains commentaires : « **sont représentés les points de même amplitude, la distance entre deux cercles est constante et égale à la longueur d'onde λ** ».

4.3.2. Les étudiants ne représentent pas des surfaces d'onde mais des « rayons d'onde »

Les surfaces d'onde d'une onde se propageant dans un milieu homogène de dimension trois et issue d'une source ponctuelle sont des sphères (ou des portions de sphères) de rayon croissant et centrées sur le même point (la source). Parmi les étudiants E_1 et E_2 donnant des

ENCADRÉ 2

Lien entre l'intensité de l'onde et une caractéristique des arcs de cercles représentant des «surfaces d'onde» sonores



«La propagation du son s'explique par la propagation des ondes sonores qui, au fur et à mesure, s'étendent en s'affaiblissant.»

Figure 1 : Étudiant E₁

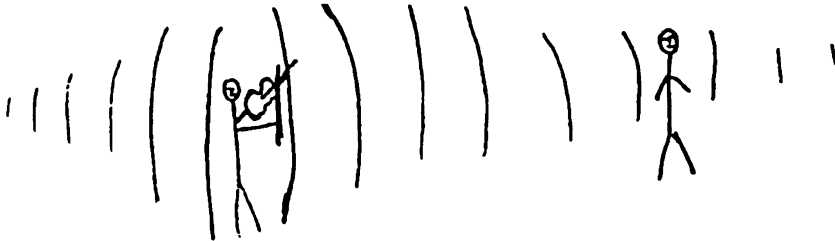
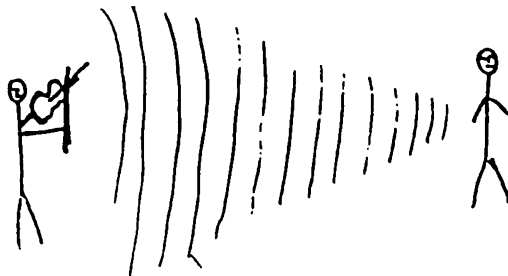


Figure 2 : Étudiant E₁

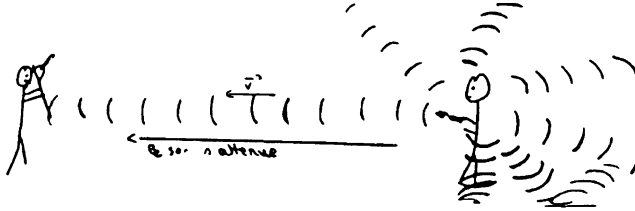


«Représentation des ondes sonores qui deviennent de plus en plus faibles suivant la distance qui sépare les deux protagonistes.»

Figure 3 : Étudiant E₁

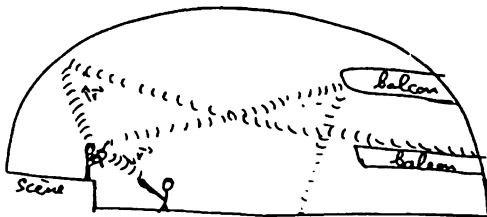
ENCADRÉ 3

Exemples de réponses d'étudiants dessinant des rayons d'onde sonores



« Le son entendu par le technicien n'est pas le même de part son intensité. En effet, étant en rase campagne, le son "s'éparpille" de tout côté. Le son arrivant 10m plus loin n'est donc pas aussi puissant. »

Figure 1 : Étudiant E₁



« Dans cette situation, le son que perçoit le technicien est beaucoup plus intense qu'en rase campagne du fait que les deux individus sont enfermés dans une pièce et que le son est renvoyé par les murs. »

Figure 2 : Étudiant E₁

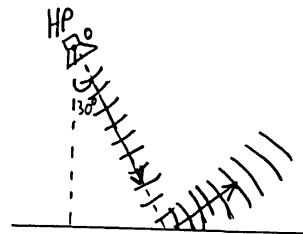
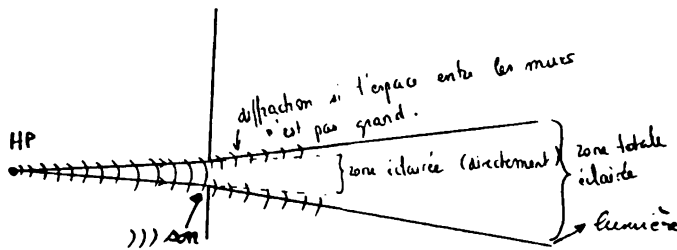


Figure 3 : Étudiant E₂



« Au passage entre les murs se produit le phénomène de diffraction (si l'espace entre les 2 est faible : 10m, c'est peut-être beaucoup !) La zone éclairée est donc plus grande que celle prévue par l'optique géométrique. Il y a aussi diffraction de l'onde sonore. »

Figure 4 : Étudiant E₂

« Le son se propage en toutes directions depuis le H.P. à la rencontre du mur. Le son se propagera à travers lui et rebondira sur lui. Entre les deux murs, il y a diffraction du son. La lumière, elle, est en partie renvoyée par le mur mais ne le traverse pas. Il y a là aussi à travers le mur diffraction. »

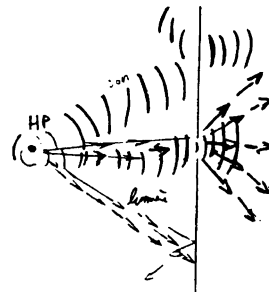


Figure 5 : Étudiant E₁

représentations du type « surfaces d'onde » pour la propagation du son, 18% dessinent en fait une succession d'arcs de cercle de même rayon. Les arcs de cercle ne sont pas centrés sur le même point, la source ; les points à même distance de la source ne sont pas nécessairement sur le même cercle (figure 1 de l'encadré 3). Nous avons appelé « **rayon d'onde** » ce type de représentation d'un phénomène ondulatoire car il amalgame les notions de rayon et de surface d'onde. Ces « rayons d'onde » ne correspondent pas à des rayons de propagation de la phase car tout se passe comme si les points à même distance de la source n'étaient pas liés par une relation de phase et étaient incohérents. La non dissociation de la phase et de l'intensité les rend proches de rayons de propagation de l'énergie.

Si le taux de représentations correctes de type « surface d'onde » dans la situation de propagation est élevé (82%), ce n'est pas le cas des situations de réflexion et de diffraction sonore. En effet, respectivement 68% et 55% des représentations de type « surfaces d'onde » correspondent à des représentations de type « rayons d'onde » (figures 2, 3, 4 et 5 de l'encadré 3).

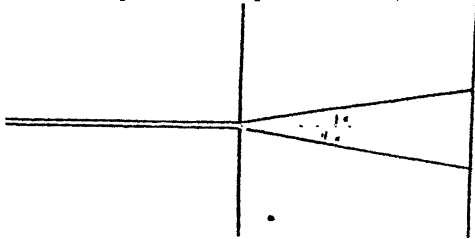
Les tendances qui viennent d'être décrites (ne pas dissocier la phase et l'intensité de l'onde, tracer des « rayons d'onde ») permettent aux étudiants de raisonner sur une grandeur directement mesurable, l'intensité, ainsi que de localiser et de suivre « quelque chose » dans son déplacement. Pouvant diminuer au cours de la propagation et se révélant par son intensité, ce « quelque chose » est représenté par des arcs de cercles dont une des caractéristiques peut changer (longueur, écartement, nombre). Ce faisant, les étudiants semblent raconter l'histoire d'objets fictifs se déplaçant le long de trajectoires-rayons énergétiquement indépendants les uns des autres. Alors que les premiers résultats pouvaient suggérer que le son est traité de manière très différente de la lumière, nous venons de voir, dans l'analyse détaillée des représentations graphiques de type « surfaces d'onde », qu'elles sont très proches de représentations de type « rayons ».

4.4. Les étudiants ne considèrent que des rayons énergétiquement indépendants

Si l'explication d'une situation géométrique peut se faire à un niveau macroscopique, celle d'une situation ondulatoire nécessite de se placer d'abord à un niveau « microscopique ». Nous allons voir que, dans une situation de diffraction du son ou de la lumière, les étudiants donnent une explication relevant en fait d'une théorie géométrique : ils restent à un niveau macroscopique et tout se passe comme si les rayons de propagation de l'énergie étaient indépendants derrière l'ouverture.

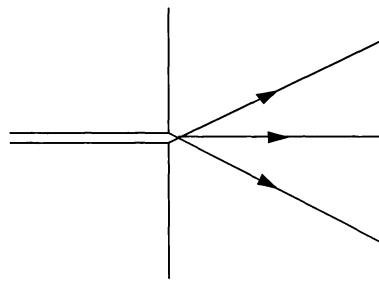
ENCADRÉ 4

Exemples de réponses d'étudiants sur la diffraction de la lumière



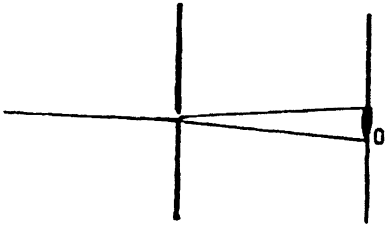
« À gauche de l'écran, la lumière se propage en ligne droite
 La partie centrale du faisceau passe comme si de rien n'était.
 Le reste est partiellement diffracté, c'est-à-dire qu'une partie
 du faisceau va subir un changement de trajectoire de part et
 d'autre du trou. »

Figure 1 : Étudiant E2



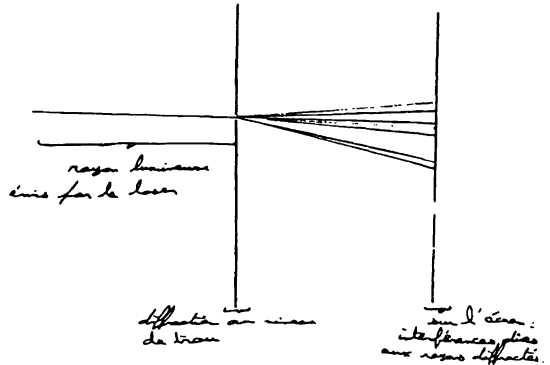
« Une partie du faisceau lumineux qui arrive à l'écran n'est
 pas dévié si ce faisceau n'entre pas en contact avec l'écran
 Les faisceaux arrivant à la limite sont déviés. »

Figure 2 : Étudiant E1



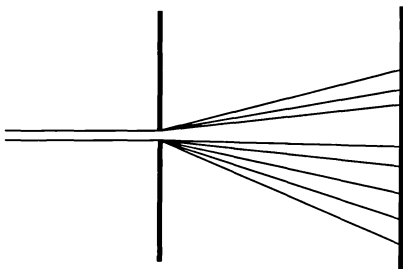
« En passant par un trou très fin, la lumière se disperse.
 Il y a réfraction et dispersion de la lumière. »

Figure 3 : Étudiant E1



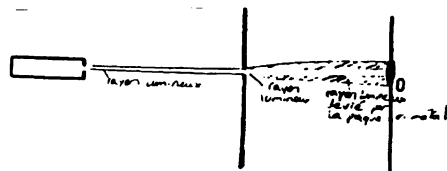
« La lumière est diffractée par le trou : le rayon **se divise** en
 une infinité de rayons ... Par rapport à l'écran, le trou est
 alors une source ponctuelle émettant une lumière mono-
 chromatique, la différence de marche est faible, la longueur
 d'onde est la même, entre deux rayons lumineux, il y a
interférences. »

Figure 4 : Étudiant E2



« La lumière issue du laser est diffractée par l'écran percé
 il y a interférences issues de l'écran. En fait c'est comme si
 l'ouverture était tapissée de multiples sources ponctuelles. »

Figure 5 : Étudiant E2



« Les particules du rayon lumineux qui ne rencontrent pas
 la plaque métallique ne sont pas déviées et se retrouvent sur
 l'écran avec la même épaisseur. Mais ceux qui rencontrent
 la plaque sont déviés, cela change leurs trajectoires. »

Figure 6 : Étudiant E1

4.4.1. Diffraction de la lumière

Un questionnaire portant sur la propagation d'un faisceau laser à travers une petite ouverture a été passé auprès de 113 étudiants E_1 et E_2 . Il a été rédigé sous deux formes : l'une correspond à celle décrite plus haut et concerne la prédiction de ce qui se passe, l'autre demande d'expliquer pourquoi il y a une tache et non un point sur l'écran d'observation. Dans les deux cas, une représentation graphique est demandée. Les réponses fournies par les étudiants étant similaires, les résultats ont été regroupés.

On rencontre majoritairement deux types de schémas de diffraction :

- **schémas de type D** (D pour déviation) (33% des 83 schémas de diffraction) : le faisceau incident est représenté par deux rayons s'appuyant sur les bords de l'ouverture diffractante et changeant de direction au passage de l'ouverture (figures 1 et 2 de l'encadré 4) ;

- **schémas de type d** (d pour division) : le faisceau incident est représenté par un rayon se divisant en deux rayons (sous-catégorie d_D apparaissant à 19%) ou plus (sous-catégorie d_S apparaissant à 40%) au passage de l'ouverture (figures 3 et 4 de l'encadré 4).

Aucun de ces schémas ne correspond à la reconstruction du niveau macroscopique à partir du niveau « microscopique ». En effet, sur le premier type de schémas l'accent est mis sur l'élargissement du faisceau incident ou sur la déviation des rayons lumineux au passage de l'ouverture et donc sur le niveau macroscopique. Il pourrait en être de même de beaucoup de schémas de la sous-catégorie d_D car ils peuvent être équivalents à ceux de la catégorie D avec un seul rayon incident au lieu de deux. Quant aux schémas de la sous-catégorie d_S , ils portent eux-aussi sur le niveau macroscopique car ils assimilent l'ouverture à une nouvelle source de lumière mais ne font apparaître qu'une seule source secondaire au niveau de l'ouverture au lieu d'une infinité de sources.

Il est à noter l'existence minoritaire d'un troisième type de schémas (type D+d). Combinaison des deux précédents, il semble indiquer que le phénomène de diffraction ne se produit que sur les **bords de l'ouverture** (figure 5 de l'encadré 4).

Alors que la description du phénomène de diffraction lumineuse par une ouverture prend en compte la déviation des rayons incidents au passage de l'ouverture et l'existence d'une modulation d'intensité de l'onde, les étudiants se focalisent sur le premier point : la présence de franges obscures et brillantes n'est mentionnée que par 41% des 66 étudiants qui ont eu à prédire ce qui se passe.

La plupart des **commentaires** fournis avec les schémas sont en fait des descriptions du phénomène. Portant sur le **niveau macroscopique**, ils mentionnent l'élargissement du faisceau lumineux ou la déviation des rayons. Des termes du langage courant sont utilisés (« *le faisceau s'élargit* », « *les rayons sont déviés* », « *se séparent* ») mais aussi des termes appartenant à la fois au registre quotidien et à celui de l'optique (*diffusion*, *dispersion*) ou bien encore des termes n'appartenant qu'à l'optique (*réflexion*, *réfraction*). Si 49% des 113 étudiants interrogés utilisent le terme « diffraction », il est à noter que 18% des 80 étudiants E_1 utilisent des termes d'optique mal à propos en parlant de réflexion, réfraction, diffusion, dispersion.

Si certains étudiants utilisent des **comparaisons** pour décrire et expliquer ce qui se passe, ces comparaisons rapprochent la situation de diffraction de **situations d'optique géométrique** où les rayons sont indépendants et non de situations d'interférence où les rayons ne sont pas indépendants. Ainsi l'élargissement du faisceau incident au passage de l'ouverture diffractante est comparé à celui produit par des dispositifs basés sur l'utilisation de lentilles (« *la lumière diffuse comme au cinéma* », « *cela agrandit le champ de vision* »).

Une explication du phénomène de diffraction, basée sur la décomposition de l'ouverture diffractante en une infinité de sources secondaires et sur la superposition cohérente des ondes émises, n'est donnée que par 2 étudiants sur les 83 qui donnent un schéma de diffraction. Le mot « source » apparaît sur 11% des 76 réponses commentées de diffraction (majoritairement, dans le sens d'une nouvelle et unique source de lumière et non dans celui de sources secondaires sur la surface d'onde incidente) et le mot « interférence » sur 3% d'entre elles. Les seules explications fournies par les étudiants portent en fait sur le niveau macroscopique et mettent l'accent sur les bords de l'ouverture de deux façons différentes (16% des commentaires). D'une part, l'utilisation de termes tels que *obstacle*, *heurter*, *contact*, et de schémas de type D+d pourrait indiquer que la déviation d'un rayon lumineux au passage de l'ouverture provient d'une action de **contact** des bords de l'ouverture avec les seuls rayons extérieurs - autrement dit d'une réflexion ou d'une diffusion (figure 2 de l'encadré 4). D'autre part, une différence de traitement entre la partie extérieure du faisceau lumineux et la partie intérieure (certains étudiants pensent que seuls les rayons extérieurs sont déviés) pose la question de savoir s'il n'y aurait pas une attraction des rayons extérieurs par les bords de l'ouverture (figure 1 de l'encadré 4).

4.4.2. Diffraction du son

Comme nous l'avons déjà signalé, 29% des étudiants E_1 et E_2 interrogés sur la diffraction sonore utilisent des surfaces d'onde. Sur 57%

de ce type de dessins, les surfaces d'onde sont en fait transformées en « rayons d'onde » ; 70% des « rayons d'onde » sont tracés pour l'onde diffractée uniquement (figure 4 de l'encadré 4) et 30% déjà pour l'onde incidente (figure 5 de l'encadré 4). On retrouve sur certains schémas l'apparition d'une liaison entre l'intensité de l'onde et la longueur des arcs de cercle. Les schémas de diffraction basés sur l'utilisation de rayons sont du même type que ceux fournis pour la lumière (type D : 24% des schémas de diffraction, type d : 13%, type D+d : 13%).

Les commentaires accompagnant les schémas sont quasiment toujours des descriptions de la déviation et de l'élargissement du faisceau sonore.

Le nombre élevé de réponses portant sur le niveau macroscopique pourrait être dû à la formulation de la question, celle-ci ne dissociant pas assez la description du phénomène de son explication. Les réponses obtenues au questionnaire sur la diffraction de la lumière ne dépendant pas de la formulation utilisée, tout laisse supposer que la tendance à rester au niveau macroscopique et à raconter l'histoire de « quelque chose » se déplaçant le long de rayons énergétiquement indépendants est une caractéristique du raisonnement commun.

5. DISCUSSION

5.1. Modèle du raisonnement des étudiants

Un nombre limité d'hypothèses peut être introduit pour rendre compte des résultats précédents. Le raisonnement commun sur la propagation des ondes en dimension trois a deux caractéristiques qui sont reliées : il tend à **réduire** la complexité des phénomènes et des théories, il est de type **géométrique et mécaniste**. En effet :

– d'une part les étudiants ne différencient pas clairement les concepts mis en jeu mais les amalgament ou les lient (il en est ainsi des concepts de phase et de champ, de surface d'onde et de surface isoamplitude, de rayon et de surface d'onde), d'autre part ils les utilisent de manière dissociée (surface d'onde pour le son et la théorie ondulatoire, rayon pour la lumière et la théorie géométrique) ;

– tout se passe comme si les étudiants racontaient l'histoire au niveau macroscopique d'objets fictifs qui se déplacent le long de trajectoires-rayons énergétiquement indépendants. Si pour eux, la situation présente un caractère ondulatoire marqué, la notion de surface d'onde est favorisée au détriment de celle de rayon. L'histoire est alors racontée à l'aide de « rayons

d'onde », ceux-ci leur permettant à la fois de dessiner et de suivre les objets dans leur déplacement. Si la situation ne présente pas de caractère ondulatoire marqué, l'histoire est racontée à l'aide de rayons. Dans une situation de diffraction, l'onde du niveau macroscopique n'est pas reconstruite à partir d'un niveau « microscopique » fictif ; tout se passe comme si les rayons de propagation de l'énergie de l'onde incidente étaient réfléchis ou réfractés par les bords de l'ouverture et restaient indépendants derrière l'ouverture.

Le raisonnement des étudiants n'est donc ni un raisonnement en termes de champ et de phase, ni un raisonnement basé sur le principe de superposition et les sources de Huygens. Les concepts de champ et de phase n'étant pas dissociés, les étudiants semblent raisonner sur les « objets » des théories géométriques (la « lumière », le « son »). Il existe cependant une différence essentielle entre les « objets » que l'on peut introduire pour rendre compte du raisonnement des étudiants et ceux des théories géométriques. Tout se passe comme si les « objets » sur lesquels s'appuie le raisonnement des étudiants possédaient « quelque chose » leur permettant d'avancer, d'avoir une intensité, une « forme »... Ce « quelque chose » peut varier lors de la propagation, ce qui se manifeste par un changement d'intensité ou/et de « forme » de l'onde et ce qui entraîne la variation simultanée d'une ou plusieurs autres caractéristiques de l'onde. Ainsi nous avons vu que, pour les étudiants, une diminution d'intensité de l'onde au cours de la propagation se traduit par une modification de la forme des arcs de cercle représentant les surfaces d'onde. D'autres questions révèlent que lors de la diffraction d'une onde au passage d'une « petite » ouverture, donc lors d'un changement de « forme » de l'onde incidente, au moins une des trois grandeurs, vitesse de propagation, longueur d'onde, fréquence est changée (Maurines, 1997). Pour rendre compte du raisonnement des étudiants, une seule notion suffit. Cette notion est un concept hybride, amalgamant nombre des concepts susceptibles d'intervenir dans une situation donnée (la phase, l'intensité, la surface d'onde, la vitesse de propagation, la fréquence, etc.) et entraînant la variation simultanée de plusieurs grandeurs physiques. Elle a été appelée « capital », pour reprendre un terme introduit par Viennot (1979) et utilisé dans nos recherches antérieures sur la propagation des signaux selon une direction.

Cette tendance à une analyse géométrico-mécaniste et réductrice des phénomènes s'accompagne d'une tendance à **matérialiser** les concepts, c'est-à-dire à les appréhender au travers d'aspects immédiats et perceptifs des phénomènes ou en référence à l'idée d'objet matériel. En effet :

– le concept de phase n'est pas distingué par les étudiants de celui d'amplitude ou d'intensité de l'onde. Ils raisonnent ainsi, non pas sur une fonction de deux variables, la phase, mais sur des grandeurs directement accessibles à l'observateur, l'amplitude dans le cas du son et l'intensité dans le cas de la lumière ;

– le concept de rayon est assimilé à celui de trajectoire de particules. Cette tendance apparaît dans certaines justifications fournies par les étudiants à propos de la lumière (figure 6 de l'encadré 4) et explique sans doute que des étudiants tendent à considérer que « *l'optique **géométrique** ne tient compte que de l'aspect **corpusculaire** de la lumière et non de l'aspect ondulatoire* » (réponse donnée par 4 étudiants E_2 sur 16 à une question demandant pourquoi l'optique géométrique ne permet pas d'interpréter l'existence de franges d'interférence dans l'expérience des fentes d'Young).

Certaines des difficultés et erreurs que nous avons dégagées rejoignent les observations faites dans d'autres études. Une tendance vers une utilisation confuse du vocabulaire d'optique a été décelée par Lefèvre (1988) et Palacios et al (1989), respectivement chez des étudiants français et des professeurs espagnols. Ces deux études ainsi que celle de Kaminsky (1989) signalent une tendance vers une matérialisation de la lumière. Des tendances vers une compréhension mécaniste des phénomènes sonores ont été notées chez de futurs enseignants au Canada et en Afrique du sud (Linder & Erickson, 1989). La tendance à confondre réalité et modèle, remarquée chez des futurs enseignants en Afrique du Sud (Smit & Finegold, 1995), rejoint la tendance à matérialiser les concepts.

Les tendances vers un raisonnement réducteur en terme d'objet dégagées lors de cette étude se rencontrent également auprès d'élèves interrogés sur la diffraction et n'ayant pas reçu d'enseignement sur les ondes (Maurines, 1997). Elles sont identiques à celles mises en évidence dans nos recherches sur la propagation des signaux selon une direction. Elles sont certainement le propre du raisonnement commun comme le montrent d'autres études en électricité (Closset, 1983), mécanique (Viennot, 1979, 1996 ; Saltiel & Malgrange, 1980), optique géométrique (Fawaz & Viennot, 1986 ; Galili, 1996), thermodynamique (Rozier & Viennot, 1991).

5.2. Quelques remarques sur les programmes et manuels scolaires, sur les ouvrages de vulgarisation

À ce stade de l'étude, la question se pose de savoir quelle peut être l'influence de l'enseignement sur le raisonnement des étudiants. Nous n'entrerons pas ici dans une analyse exhaustive des programmes et des manuels, notre but étant simplement de souligner quelques points.

ENCADRÉ 5

Quelques dessins extraits de livres scolaires ou de vulgarisation

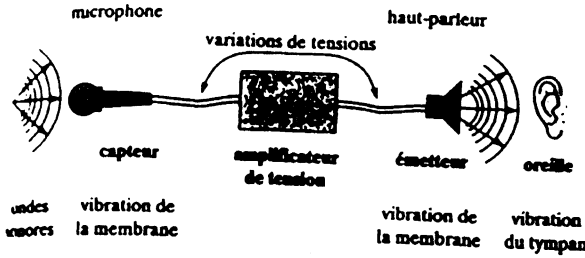


Figure 1 : Physique-Chimie, seconde. Hachette, 1993, p. 133

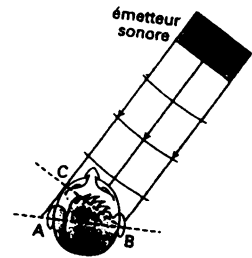


Figure 2 : Physique-Chimie, seconde. Hatier, 1993, p. 127

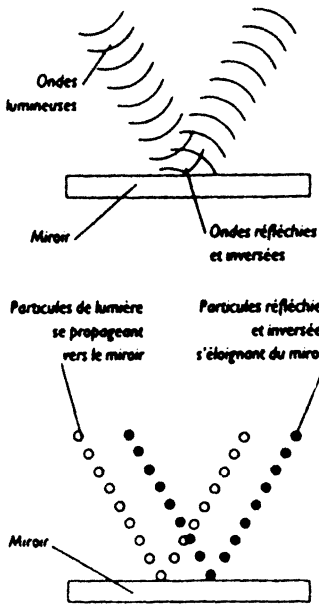
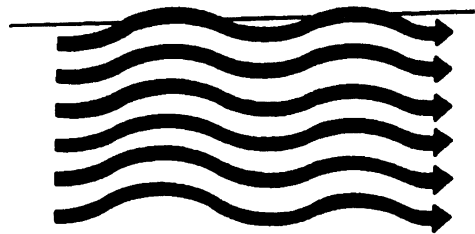


Figure 3 : Passion des sciences «La lumière». Gallimard, p. 35



Ondes lumineuses du laser
Figure 4 : Gamma jeunesse «Plein feux sur la lumière». Héritage, p. 27

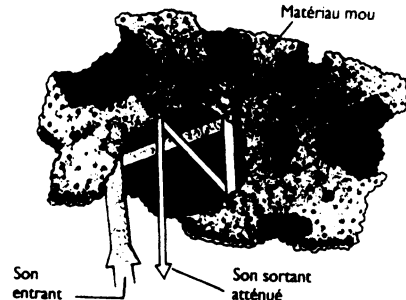


Figure 6 : Gamma jeunesse «Plein feux sur le son». Héritage, p. 19

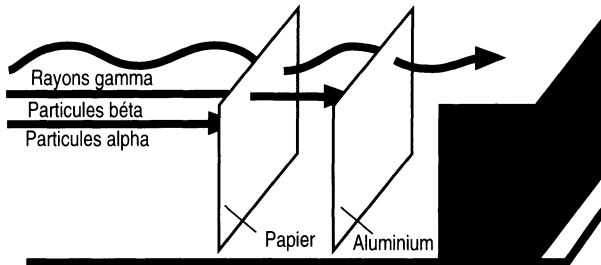


Figure 5 : Encyclopédie des jeunes «Le monde de l'atome». Artoria, p. 30

Il est tout d'abord à noter que les représentations graphiques des phénomènes sonores précédemment citées ont été obtenues auprès d'élèves et étudiants ayant suivi un enseignement dans lequel le concept de surface d'onde apparaissait. Nous avons voulu tester l'impact du changement de programme dans l'enseignement secondaire en faisant repasser un questionnaire sur la propagation du son à des élèves ayant suivi le nouveau programme de seconde. On obtient dans ce cas majoritairement des représentations de type « rayon » (50%, N=28) alors qu'auparavant on obtenait majoritairement des représentations de type « surfaces d'onde » (71%, N=31). Il est vraisemblable, vu la nature du changement de programme, que celui-ci a eu un effet sur le type de représentations graphiques utilisées et non sur le type de raisonnement mis en oeuvre.

On peut se demander ensuite pourquoi, après un enseignement universitaire ou secondaire type « ancien programme », il y a une telle prédominance des représentations de type surface d'onde pour le son et de type rayon pour la lumière. Une analyse du programme de première scientifique daté de 1988 et des manuels d'enseignement montre une tendance à introduire des concepts en s'appuyant sur des expériences permettant de les visualiser par **matérialisation**. Ainsi, en ce qui concerne le concept de surface d'onde, le programme recommande l'utilisation de la cuve à eau, qui permet, dit-il, de « **montrer** » des rides circulaires et rectilignes. En ce qui concerne le rayon, des recherches en optique géométrique (Kaminski, 1989) ont montré qu'il était largement fait appel à des pinces lumineuses visualisées par « diffusion ».

Une tendance à considérer que le concept de rayon n'est pas utilisable dans la situation de diffraction se manifeste dans les programmes du secondaire. En effet, les expériences dans lesquelles on fait tendre la section des pinces lumineuses vers zéro, ne sont pas interprétées, en disant que la loi de la propagation rectiligne de l'optique géométrique est mise en défaut, mais en disant que « *le concept de rayon lumineux apparaît comme une **approximation limite** qui revient à négliger le phénomène de **diffraction*** » (programme 1995 de terminale S). Pourtant, ce n'est pas parce qu'on ne peut pas isoler expérimentalement un rayon, qu'on ne peut pas utiliser le concept de rayon dans une situation ondulatoire (Dettwiller, 1990). De cette tendance à considérer que le concept de rayon n'est utilisable que dans des situations géométriques résulte sans doute la réticence qui se décèle dans les commentaires du programme de seconde à utiliser le concept de rayon dans le cas de sons audibles. En effet, le terme rayon y est utilisé une seule fois, et ce à propos de la réflexion des ultrasons : « *lors des expériences avec les ultrasons on est dans des conditions où l'on peut parler de rayons sonores, ce qui est beaucoup **moins approprié** à la physique des sons audibles (à cause de la **diffraction**)* ».

Pourtant, ce n'est pas parce que l'acoustique géométrique donne de meilleurs résultats pour des ondes de fréquence élevée, qu'on ne peut pas l'appliquer à des ondes de fréquence plus petite. C'est un modèle largement utilisé pour la propagation atmosphérique ou sous-marine du son (Frank et al., 1974 ; Pierce, 1981 ; Rossi, 1986). Il est également utilisé dans le domaine technique et architectural car d'utilisation facile (Raes, 1964 ; Vivie & Cassan, 1990), mais comme tout modèle, il a des limites et celui-ci ne permet pas une étude fine des phénomènes.

Vu les résultats obtenus lors des enquêtes, on peut conclure qu'introduire les concepts par visualisation et considérer le rayon comme un « **rayon géométrique expérimental** » conduit les étudiants à penser que le concept de rayon est réservé à la lumière et à la théorie géométrique, que le concept de surface d'onde est réservé au son et à la théorie ondulatoire.

En ce qui concerne la diffraction, on note que tous les programmes du secondaire en donnent un commentaire minimum. La plupart tend à faire penser que le concept de rayon n'a plus de sens et aucun ne demande d'expliquer le phénomène de diffraction en considérant la superposition d'une infinité d'ondes émises par des sources fictives : le principe de superposition et les interférences sont présentés après la diffraction et il n'y a pas de retour en arrière. On ne peut s'étonner dans ces conditions que les étudiants ayant reçu un enseignement sur les ondes de niveau secondaire expliquent la diffraction comme si c'était une situation géométrique. Mais que dire alors de ceux ayant reçu un enseignement universitaire sur les ondes ?

Après ces quelques remarques sur les programmes du secondaire, passons aux manuels.

En ce qui concerne le rayon sonore, certains livres de seconde donnent les lois de la réflexion avant d'avoir défini ce qu'est un rayon sonore et quand ils le font, assimilent rayon sonore et son. On peut ainsi lire : « *un émetteur ponctuel d'onde sonore émet des rayons sonores qui se propagent en ligne droite dans toutes les directions* ». En comparant cette définition avec celle donnée plus loin à propos du rayon lumineux (« *on appelle rayon lumineux le **trajet** suivi par la lumière pour aller d'un point à un autre* »), on peut se demander si ce manque de rigueur dans la méthode et la définition ne traduit pas une gêne à utiliser le concept de rayon dans le cas du son (Tomasino & Pénigaud, 1993, p. 174 et p. 195).

Bien que le programme de seconde 1993 ne porte pas sur le concept de surface d'onde, beaucoup de manuels de cette classe utilisent des représentations graphiques qui en découlent sans expliquer de quoi il s'agit. Il est à noter que ces surfaces d'onde ne sont tracées que pour le son

et pas pour la lumière. Certains dessins font apparaître les mêmes erreurs que celles commises par les étudiants : on observe un lien entre l'intensité de l'onde et l'écartement des arcs de cercle sur la figure 1 de l'encadré 5 et un rayon d'onde sur la figure 2 de cet encadré.

La tendance à matérialiser les rayons ne peut être renforcée par l'analyse de l'optique géométrique faite par certains manuels de l'enseignement supérieur. Que reste-t-il dans l'esprit des étudiants de premier cycle universitaire lorsqu'ils ont lu « *la lumière se propage comme le ferait un ensemble de **particules matérielles** (qu'on assimile bien entendu, aux photons) dans un champ de force. En particulier, dans un milieu homogène, elle se propage en ligne droite comme des particules dans un champ nul. Cette **approximation** constitue l'optique géométrique. Les **trajectoires des particules** sont alors les rayons lumineux* » (Suardet, 1967, p. 13). Même s'il est exact que formellement l'optique géométrique est à rapprocher de la mécanique variationnelle (Born & Wolf, 1980 ; Landau & Lifchitz, 1970) l'approximation de l'optique géométrique n'a rien à voir avec la nature corpusculaire de la lumière et la propagation rectiligne mais avec l'ordre de grandeur de la longueur d'onde devant les dimensions mises en jeu dans les situations étudiées.

La tendance à considérer qu'en optique géométrique, seul le concept de rayon est utilisable ne peut être remise en question par l'absence dans beaucoup de livres universitaires français de schémas mettant en évidence la modification des surfaces d'onde lors de la réflexion et de la réfraction de la lumière, ou de la formation des images. Il est vraisemblable que l'impact visuel de tels schémas (Hecht, 1987) devrait permettre aux étudiants de comprendre que la théorie géométrique peut recevoir une interprétation ondulatoire.

La tendance à considérer qu'en optique ondulatoire, le concept de rayon n'est pas utilisable ne peut être remise en question par le fait que quasiment aucun livre universitaire ne s'intéresse aux rayons de propagation de l'énergie dans la situation de diffraction. Un livre parmi ceux consultés se distingue sur ce point (Dettwiller, 1990).

Terminons par quelques remarques sur les représentations graphiques rencontrées dans les livres de vulgarisation (encadré 5). La plupart de ces livres utilisent des représentations différentes pour la propagation de la lumière et du son, rayon pour la première et surface d'onde ou parfois sinusoïde pour la deuxième. Lorsqu'il s'agit de mettre l'accent sur le caractère ondulatoire de la lumière, on retrouve en ce qui la concerne des « rayons d'onde » (figure 3 de l'encadré 5) et des sinusoides (figures 4 et 5 de l'encadré 5). Il est à noter par ailleurs qu'on rencontre des schémas sur lesquels le déplacement du son est représenté par une flèche

dont l'épaisseur diminue avec l'intensité (figure 6 de l'encadré 5). Comme avec le « rayon d'onde », ce type de représentation permet de raconter l'histoire d'un objet en déplacement. Il ne peut favoriser une dissociation entre le concept de direction de propagation de l'énergie et celui d'intensité de l'onde.

5.3. Propositions pédagogiques

L'enseignement actuel des phénomènes ondulatoires ne favorise pas une remise en cause du raisonnement commun. Il n'est pas question ici de proposer un enseignement type mais de dégager quelques pistes de réflexion pouvant conduire à une définition précise d'objectifs d'enseignement tant au niveau de l'enseignement secondaire que de celui du supérieur.

Il va sans dire qu'il y a tout un travail à faire auprès des étudiants pour qu'un des concepts-clés de la théorie ondulatoire, la phase, soit maîtrisé. Des questions telles celles élaborées dans nos recherches antérieures (Maurines, 1995) peuvent être utilisées pour amener les étudiants à dématérialiser ce concept.

Décrire et représenter graphiquement au niveau macroscopique, une même situation, qu'elle soit sonore ou lumineuse, à l'aide de rayons et de surfaces d'onde devrait permettre aux étudiants de comprendre que ces deux concepts peuvent être utilisés pour modéliser tout phénomène ondulatoire propagatif.

Modéliser une même situation géométrique, aussi bien au niveau macroscopique qu'au niveau « microscopique », devrait permettre aux étudiants de comprendre que la théorie ondulatoire n'est pas réservée aux seules situations ondulatoires et que si elle n'est pas utilisée dans les situations géométriques, c'est pour des raisons de rapidité. De même, utiliser les deux types de modélisations pour une même situation géométrico-ondulatoire devrait aider les étudiants à saisir que le choix de l'une ou l'autre des modélisations dépend du degré de précision souhaité. Par ailleurs, tout ceci devrait permettre aux étudiants de comprendre que la modélisation de la théorie géométrique consiste en une description de l'onde du niveau macroscopique alors que celle de la théorie ondulatoire consiste en sa reconstruction à partir d'un niveau « microscopique » fictif.

Soulignons, pour terminer, l'intérêt d'une méthode déjà proposée en conclusion de la recherche sur la propagation des signaux mécaniques visibles (Maurines, 1986) : la comparaison, par ressemblances et différences, de phénomènes de nature différente. On pourrait ainsi proposer aux étudiants de comparer le comportement d'un flux de particules et celui d'une onde dans diverses situations (passage à travers un trou, d'un milieu à un autre etc), le comportement d'une ouverture diffractante et celui d'une

lentille divergente. Ceci devrait leur permettre de mieux cerner les caractéristiques de chacun de ces phénomènes.

6. CONCLUSION

Le modèle de raisonnement commun proposé lors de cette étude permet de donner sens et cohérence aux réponses des étudiants. Si, de par sa nature mécaniste et réductrice, il rejoint le modèle proposé pour la propagation d'un signal à une dimension et ceux avancés pour d'autres domaines de la physique, il est, de par sa nature géométrique, spécifique à la propagation des ondes en dimension trois. L'enseignement actuel des ondes peut contribuer à renforcer ces tendances du raisonnement commun.

Si l'analyse du domaine conceptuel et la caractérisation du raisonnement commun à propos des ondes en dimension trois nous ont conduits à faire quelques propositions pédagogiques, il reste encore beaucoup à faire sur ce point. Le modèle de raisonnement que nous venons de présenter a été mis à l'épreuve. Sa nature mécaniste a été testée plus avant dans la recherche sur la diffraction à travers une « petite » ouverture (Maurines, 1997). Sa nature géométrique a été testée par Maurines (à paraître) lors d'une étude portant sur des situations de formation d'image nécessitant l'utilisation du principe de Huygens-Fresnel (éclairage cohérent en présence ou non de diffraction).

BIBLIOGRAPHIE

- ARDLEY N. (1990). *Le monde de l'atome*. Bruxelles, Artis-Artoria.
- BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin.
- BORN M. & WOLF E. (1980). *Principles of optics*. New York, Pergamon Press.
- BURNIE D. (1993). *La lumière*. Paris, Gallimard.
- CLOSSET J.-L. (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Thèse de troisième cycle, Université Paris 7.
- DETTWILLER L. (1990). *Qu'est-ce que l'optique géométrique ? fondements et applications*. Paris, Bordas.
- DURANDEAU J.-P., DURUPHTY A., BRAMAND P., DURUPHTY O., FAYE P., GIACINO M., JAUBERT A., MARTEGOUTES R., SAHUN R. & THOMASSIER G. (1993). *Physique Chimie Seconde*. Paris, Hachette.
- FAWAZ A. & VIENNOT L. Image optique et vision. *BUP*, n° 686, pp. 1125-1146.
- FRANK P.G., BERGMANN P.G. & YASPAN A. (1974). Ray Acoustics. In R.B. Lindsay (Éd.), *Physical Acoustics*. Stroudsburg, Dowden, Hutchinson and Ross Inc., pp. 32-56.
- GALILI I. (1996). Students' conceptual change in geometrical optics. *International Journal of Science Education*, vol. 18, n° 7, pp. 847-868.

- GENTRIC R., DAHRINGER F., ÉTIENNE M., LE HETET-GUIHEUX G., MARIGNY F. & POUILLAIN L. (1993). *Physique Chimie Seconde*. Paris, Hatier.
- HECHT E. (1987). *Optics*. New York, Addison Wesley.
- KAMINSKI W. (1989). Conceptions des enfants et des autres sur la lumière. *BUP*, n° 716, pp. 973-996.
- LANDAU L. & LIFCHITZ E. (1970). *Théorie des champs*. Moscou, Mir.
- LEFÈVRE R. (1988). *Contribution à l'étude des conceptions des étudiants de l'université sur le thème de l'optique*. Thèse, Université Paris 7.
- LINDER C. & ERICKSON G. (1989). A study of tertiary physics students' conceptualizations of sound. *International Journal of Science Education*, vol. 11, special issue, pp. 491-501.
- MAURINES L. (1986). *Premières notions sur la propagation des signaux mécaniques : analyse des difficultés des étudiants*. Thèse, Université Paris 7.
- MAURINES L. (1992). Spontaneous reasoning on the propagation of visible mechanical signals. *International Journal of Science Education*, vol. 14, n° 3, pp. 279-293.
- MAURINES L. (1993). Mécanique spontanée du son. In Actes du deuxième séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques, IUFM de Montpellier. *Trema* n° 3-4, pp. 77-91.
- MAURINES L. (1995). Les étudiants et la phase d'une onde progressive : résultats d'une enquête exploratoire. In G. Mary & W. Kaminski (Éds), *Actes du cinquième séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques*. Reims, Université de Reims-Champagne-Ardenne et IUFM de Reims, pp. 107-123.
- MAURINES L. (à paraître). Students and the wave geometrical model of the wave propagation in a three dimensional medium. In *Proceedings of the first international conference of the European Science Education Research Association*.
- MAURINES L. (1997). Raisonnement spontané sur la diffraction. In J. Gréa (Éd.), *Actes du sixième séminaire national de recherche en didactique de la physique, de la chimie et de la technologie*. Lyon, Université Lyon 1, pp. 77-95.
- MAURINES L. (à paraître). Les étudiants et les situations ondulatoires de formation des images. In *Actes des premières rencontres scientifiques de l'Association pour la Recherche en Didactique des Sciences et Techniques*.
- MAURINES L. (à paraître). Les étudiants, la diffraction et la formation des images en éclairage cohérent, *Didaskalia*.
- PALACIOS F., CAZORLA F. & CERVANTES A. (1989). Misconceptions on geometric optics and their association with relevant educational variables. *International Journal of Science Education*, vol. 11, n° 3, pp. 273-286.
- PIAGET J. & INHELDER B. (1941). *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*. Neuchâtel, Delachaux-Niestlé.
- PIERCE A.D. (1981). *Acoustics, an introduction to its principles and applications*. New York, Mac Graw Hill.
- RAES A.C. (1964). *Isolation sonore et acoustique architecturale*. Paris, Chiron.
- ROSSI M. (1986). *Electroacoustique*. Paris, Dunod.
- ROZIER S. & VIENNOT L. (1991). Students' reasoning in thermodynamics. *International Journal of Science Education*, vol. 13, n° 2, pp. 159-170.
- SALTIEL E. & MALGRANGE J.-L. (1980). Les raisonnements naturels en cinématique élémentaire. *BUP*, n° 616, pp. 1325-1355.
- SMIT J.J.A. & FINEGOLD M. (1995). Models in physics : perceptions held by final-year prospective physical science teachers studying at South African universities. *International Journal of Science Education*, vol. 17, n° 5, pp. 621-634.

- SUARDET R. (1967). *Optique*. Paris, Baillière.
- TAYLOR B. (1993). *La lumière*. Paris, Gamma jeunesse, Héritage.
- TAYLOR B. (1993). *Le son*. Paris, Gamma jeunesse, Héritage.
- TOMASINO A. & PENIGAUD A. (1993). *Physique, classe de seconde*. Paris, Nathan.
- VIENNOT L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris, Hermann.
- VIENNOT L. (1996). *Raisonnement en physique*. Paris, De Boeck.
- VIVIÉ E. & CASSAN M. (1990). Acoustique architecturale. In *Le livre des techniques du son, vol. 1*. Paris, Eyrolle, pp. 71-154.

ANNEXE 1

Situations et théories utilisées*

types de situations	ondulatoires	géométrico-ondulatoires	géométriques
	<i>variation dans l'espace de l'amplitude des champs non négligeable</i>	<i>variation dans l'espace de l'amplitude des champs non négligeable</i>	<i>variation dans l'espace de l'amplitude des champs négligeable</i>
exemples de situations	<p>propagation en champ proche</p> <p>diffraction et diffusion en champ proche ou lointain avec obstacles interfaces ouvertures « petits »</p> <p>propagation dans métaux, milieux anisotropes</p> <p>cavités dont au moins une des dimensions est « petite » (guide d'onde, onde stationnaire)</p>	<p>diffraction en champ lointain avec obstacles interfaces de « grandes » dimensions ouvertures « pas assez grandes » surfaces « lisses »</p> <p>interférence en champ lointain</p>	<p>propagation, réflexion réfraction en champ lointain avec obstacles interfaces cavités ouvertures de « grandes » dimensions surfaces « lisses »</p> <p>superposition d'ondes indépendantes</p>
théories utilisées pour leur étude*	ondulatoire «exacte»	ondulatoire «approchée» modèle géométrico-ondulatoire	géométrique
qu'est ce qui se propage ?	une perturbation <i>modification de deux champs</i>	une perturbation <i>modification d'un champ scalaire</i>	non précisé <i>«lumière» «son»</i>

équation fondamentale	équation de propagation	principe de Huygens-Fresnel	eikonale
concepts et principes fondateurs	champ et phase principe de superposition des amplitudes	champ et phase principe de superposition des amplitudes sources de Huygens	« chemin » principe de superposition des intensités

* Les différentes théories étant emboîtées, il est possible d'utiliser (mais beaucoup plus long !) la théorie ondulatoire « exacte » pour étudier une situation géométrique ou géométrico-ondulatoire, la théorie ondulatoire « approchée » pour étudier une situation géométrique.

ANNEXE 2

Principales caractéristiques de l'onde de différentes situations géométriques et géométrico-ondulatoires.

Une source (milieux homogènes) :

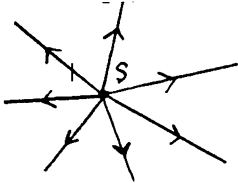

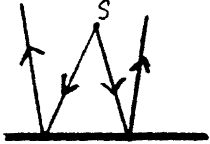

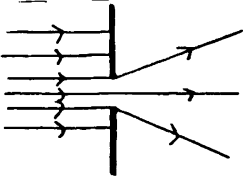

<i>situations</i>	<i>niveau macroscopique</i>	<i>niveau «microscopique»</i>	<i>modèles utilisés pour obtenir l'intensité de l'onde</i>
<p>géométriques</p> <p>propagation</p> <p>réflexion</p> <p>réfraction</p>	<p>intensité I de l'onde non modulée</p> <p>rayons d'énergie rectilignes et indépendants</p>	<p>sources fictives de Huygens cohérentes</p> <p>les rayons des ondes émises par les sources fictives de Huygens sont liés et ne sont pas trajet d'énergie</p>	<p>photo et acoustométrie</p> <p>(conservation du flux énergétique)</p>
<p>géométrico-ondulatoires</p> <p>diffraction par une ouverture ou par un bord</p> <p>voisinage des caustiques</p> <p>formation des images optiques en éclairage cohérent avec diffraction</p>	<p>intensité I de l'onde modulée</p> <p>rayons d'énergie non rectilignes et inter-dépendants</p>		<p>principe de Huygens-Fresnel</p> <p>(amplitude = somme des amplitudes des ondes émises par les sources fictives de Huygens)</p>

Deux sources (milieux homogènes) :

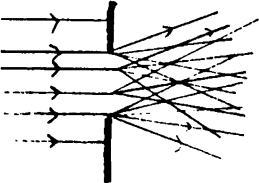
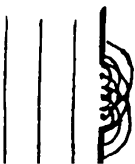
<i>situations</i>	<i>niveau macroscopique</i>	<i>niveau « microscopique »</i>	<i>modèles utilisés pour obtenir l'intensité de l'onde</i>
<p>géométriques</p> <p>superposition de deux ondes indépendantes</p> <p>formation des images optiques en éclairage incohérent et sans diffraction</p>	<p>intensité I non modulée</p> <p>rayons d'énergie des deux ondes rectilignes et indépendants</p> <p>onde résultante totalement incohérente</p>	<p>deux sources réelles incohérentes</p> <p>les rayons des ondes émises par les deux sources sont toujours trajets d'énergie et ne sont pas liés</p>	<p>photo et acoustométrie</p> <p>(intensité I de l'onde résultante = somme des intensités des deux ondes indépendantes)</p>
<p>géométrico-ondulatoires</p> <p>interférence</p>	<p>intensité I modulée</p> <p>rayons d'énergie de l'onde résultante non rectilignes et inter-dépendants</p> <p>onde résultante totalement cohérente</p>	<p>deux sources réelles cohérentes</p> <p>les rayons des ondes émises par les deux sources ne sont plus trajet d'énergie et sont liés</p>	<p>principe de superposition des amplitudes</p> <p>(amplitude Ψ de l'onde résultante = somme des amplitudes des 2 ondes)</p>

ANNEXE 3

Représentations graphiques d'une onde au niveau macroscopique dans le modèle géométrico-ondulatoire

	rayons (d'énergie)	surfaces d'onde
propagation		
réflexion		
diffraction		

Représentations graphiques de la situation de diffraction au niveau microscopique

	rayons des ondes fictives de Huygens	surfaces d'onde des ondes fictives de Huygens
diffraction		

ANNEXE 4

Les étudiants représentent de manière différente les phénomènes lumineux et sonores.

Situation de propagation en milieu illimité :

– un violoniste jouant un « la » et un auditeur situé à 10 mètres de lui, en pleine campagne (population E_1) ;

– une source ponctuelle (lumineuse ou sonore) émettant avec la même intensité dans toutes les directions, dans l'air supposé à température uniforme et sans vent (population E_2).

	rayon	surface d'onde	sinusoïde
lumière $E_2, N=54$	50 %	37 %	2 %
son $E_1 + E_2, N=84$ (31+53)	10 %	68 %	15 %

Tableau 1 : Pourcentage des différents types de représentations graphiques dans une situation de propagation

Situation de réflexion :

– un violoniste jouant un « la » et un auditeur situé à 10 mètres de lui, dans une salle de concert (population E_1) ;

– une source supposée ponctuelle (respectivement lampe de bureau ou haut-parleur alimenté par un générateur délivrant une tension sinusoïdale de 10000 Hz) émettant face à un plan ou à un miroir (population E_2).

	rayon	surface d'onde	sinusoïde
lumière $E_2, N=33$	82 %	6 %	0 %
son $E_1 + E_2, N=83$ (31+52)	36 %	45 %	0 %

Tableau 2 : Pourcentages des différents types de représentations graphiques dans une situation de réflexion

Situation de diffraction par une ouverture :

– pour la lumière : un laser, un écran percé d'un petit trou, un écran d'observation (populations E_1 et E_2) ;

– pour le son : un haut parleur émettant le « la » le plus grave du piano accroché à un lampadaire allumé, situés en face de deux murs séparés de 10 mètres (populations E_1 et E_2).

	rayon	surface d'onde	sinusoïde
lumière $E_1 + E_2$, $N = 113$ (80+33)	85 %	0 %	0 %
son $E_1 + E_2$, $N = 79$ (29+50)	42 %	29 %	2 %

Tableau 3 : Pourcentages des différents types de représentations graphiques dans une situation de diffraction

Recherches didactiques sur la formation professionnelle des enseignants de mathématiques du second degré et leurs pratiques en classe

Didactical research work on practices of mathematical teachers in the classroom and on their training

Aline ROBERT

IUFM de Versailles
45 avenue des États Unis
78000 Versailles, France.

Résumé

Dans cet article nous abordons la question des recherches didactiques sur la formation professionnelle des enseignants de mathématiques (plus particulièrement sur la formation initiale). Nous rappelons d'abord des questions générales qui se posent en formation. Nous précisons alors, en argumentant notre choix, le cadrage théorique que nous proposons d'adopter pour les recherches sur la formation professionnelle, cadre issu de la didactique professionnelle. Pour faire fonctionner de telles recherches il s'avère qu'il manque des connaissances sur les pratiques enseignantes effectives. C'est dans ce sens que nous présentons, en dernière partie, la problématique que nous proposons pour analyser les pratiques enseignantes en classe de mathématiques au lycée. Nous illustrons ces propositions par un exemple de telles recherches en classe de seconde.

Mots clés : *mathématiques, formation des enseignants, pratiques en classe, analyse de pratiques, didactique des mathématiques.*

Abstract

In this article, we investigate the issue of research works on training of mathematical teachers (at the secondary level). We choose a theoretical level to submit our reflection and this leads us to suggest that our knowledge on teachers' practices in the classroom is not yet sufficient. We propose then our problematics and some methodological directions to analyse those practices. We illustrate our proposals by relating an exemple of such effective work research.

Key words : *mathematics, teachers' training, teachers' practices, practices' analysis, didactics.*

Resumen

En este artículo abordamos el tema de las investigaciones didácticas sobre la formación profesional de los profesores de matemática (particularmente sobre la formación inicial). Nosotros recordamos en principio preguntas generales que siempre se proponen en formación. Precisamos, considerando nuestros argumentos, el cuadro teórico que proponemos adoptar para las investigaciones en formación profesional, cuadro este proveniente de la didáctica profesional. Para hacer funcionar tales investigaciones se verifica que existe una falta de conocimientos sobre la práctica efectiva de la enseñanza. Es en este sentido que presentamos en la última parte la problemática propuesta para analizar las prácticas de enseñanza en clase de matemáticas en el liceo. Ilustramos estas proposiciones por un ejemplo de tales investigaciones en clase de segundo del liceo francés.

Palabras claves : *matemática, formación de enseñantes, prácticas en clase, análisis de prácticas, didáctica de las matemáticas.*

Dans cet article nous livrons une réflexion sur des recherches didactiques relatives à la formation professionnelle¹ des enseignants² de mathématiques. Le qualificatif «didactique» marque que ces recherches tiennent compte de façon majeure des contenus à enseigner. À une exception près, nous ne donnons pas de résultats de recherches précis ; en revanche, nous tentons de présenter et de justifier un cadrage théorique pour mettre en place des recherches didactiques sur les formations professionnelles des enseignants de mathématiques.

Nous nous sommes interrogée sur les éléments théoriques dont nous disposons pour mener à bien ces recherches sur la formation puis nous avons esquissé un cadrage théorique qui fait l'objet de la première partie de l'article.

Cette démarche a mis en évidence un besoin de connaissances supplémentaires sur les pratiques des enseignants en classe : nous exposons, dans la deuxième partie, une problématique et une méthodologie pour des recherches (préliminaires) sur ces pratiques en classe de mathématiques. Nous illustrons notre propos par une étude spécifique en classe de seconde, portant sur l'introduction des vecteurs.

Nous terminons en évoquant certains manques de notre démarche théorique.

1. INTRODUCTION : PRÉSENTATION DE QUESTIONS GÉNÉRALES SUR LES FORMATIONS ET DESCRIPTION DE NOTRE APPROCHE EN TERMES DE RECHERCHES

1.1. Questions générales sur les formations et leurs évaluations par l'institution

Les formations professionnelles initiales³ actuelles sont l'objet d'une interrogation assez répandue concernant la difficulté à articuler les formations théoriques et les formations sur le terrain. Les enseignants-débutants (les formés) ont du mal à accepter des apports de connaissances théoriques, décontextualisées, car ils sont terriblement centrés sur leur classe du lendemain ; même si on réussit à définir des contenus de formation qui les intéressent, ce n'est pas pour autant qu'ils réussissent à en intégrer des conséquences dans leurs pratiques. La question est donc posée du « Comment et à quoi former », pour optimiser les efforts des uns et des autres.

Par ailleurs, la nécessité d'une formation professionnelle optimale est renforcée, nous semble-t-il, par le constat de plusieurs dysfonctionnements, qui perturbent le système éducatif :

- le fait que les élèves actuels ne sont pas toujours aussi bien formés qu'on l'attendrait, notamment en sciences,
- le fait que les différences, en termes de réussite, sont socialement marquées (c'est-à-dire que l'école qualifie plus et mieux les enfants plus favorisés socialement),
- enfin les très graves difficultés pour enseigner dans les zones défavorisées.

Jusqu'à présent les évaluations des formations étaient surtout liées à l'institution. Ces évaluations, si on se fonde sur les déclarations des formateurs, mettent en jeu trois niveaux d'appréciation des pratiques en classe : « la classe tourne », « la réussite des élèves », « l'apprentissage des élèves ». Les deux premiers niveaux sont majorés, et cela nous semble insuffisant.

Le premier niveau, « la classe tourne », le plus visible pour un observateur entrant en classe, est celui du respect des règles élémentaires de fonctionnement de la « collectivité classe » : prise de paroles contrôlée, silence lorsque l'enseignant parle, suivi minimum des différentes consignes, etc. On reconnaît tout ce qui aboutit à un confort relatif des différents partenaires (Robert, 1995, 1996a). C'est le niveau qui est visé d'abord en première année d'exercice, pour les stagiaires appelés PLC2, c'est celui que les formateurs évoquent toujours prioritairement. Il nous semble insuffisant pour estimer les effets d'une pratique enseignante.

Un deuxième niveau d'évaluation des pratiques est celui – nécessairement relatif – de la « réussite des élèves », en général mesuré sur des épreuves proposées (et le plus souvent corrigées) par l'enseignant lui-même⁴. Cette évaluation ne mesure souvent qu'une adéquation partielle des procédures des élèves aux attentes de l'enseignant et pas nécessairement la réussite ou l'échec des apprentissages. De plus, les attentes peuvent varier d'un enseignant à l'autre, et/ou d'une classe à l'autre. Si par exemple l'enseignant considère que sa classe est faible, il proposera des contrôles plus faciles que ceux qu'il aurait donnés dans une autre classe. Il peut obtenir ainsi les mêmes répartitions de notes, qui ne mesurent pas la même chose. Par ailleurs, les lacunes et les erreurs des élèves ainsi mesurées peuvent conduire à des appréciations trompeuses de leurs manques et par suite à des remédiations faussées. En effet on peut se limiter à corriger les procédures erronées, en enseignant des savoir-faire, alors que les problèmes révélés par les erreurs sont ailleurs.

Le troisième niveau, « l'apprentissage des élèves », est précisément celui que nous jugeons fondamental. Cet objectif ultime du processus d'enseignement est difficile à détecter, et pour l'enseignant, et pour l'institution. Il en est fait très rarement état dans des rapports ou autres évaluations individuelles. Certaines batteries de tests au début de la sixième et à la fin de la troisième nous donnent des indicateurs moyens. Mais ils relèvent plus du deuxième niveau d'évaluation que du troisième, d'autant plus qu'une faible modification des énoncés peut considérablement changer les performances (Bodin, 1997). Par ailleurs, si on peut obtenir certaines « photos » des apprentissages en cours, cela ne préjuge en rien ni des apprentissages potentiels, tout juste commencés, ou qui pourront s'installer, et qui ne se traduisent pas encore par des critères de réussite,

ni de ce qui va s'oublier rapidement. Il est de plus très difficile de déterminer ce qui dépend vraiment de l'enseignement, voire de l'enseignant, dans des apprentissages⁵. Enfin, à la fois conséquence immédiate et cause à long terme de ces difficultés, ces questions délicates sont peu abordées en formation initiale, avec des enseignants-étudiants travaillant dans l'urgence, préoccupés d'abord du premier niveau, qui cherchent à intéresser leurs élèves tout en s'en faisant respecter⁶.

Ces constats nous ont amenée à faire l'hypothèse, peut-être naïve, que si on veut former des enseignants qui ont des moyens pour estimer les apprentissages de leurs élèves, pour s'adapter à des classes très variées, alors il faut des connaissances supplémentaires sur les pratiques enseignantes et sur les formations professionnelles ; elles pourront contribuer à analyser des formations et à élaborer des formations optimales.

Nous avons donc fait le pari de subordonner à des résultats de recherches complémentaires les réponses aux questions sur les contenus et les formes des formations professionnelles à l'enseignement des mathématiques au lycée et au collège. Mais quelles recherches ?

1.2. Présentation de notre position : une définition des pratiques enseignantes

Nous nous appuyons sur l'hypothèse, reprise de nos hypothèses didactiques, que la prise en compte des contenus est fondamentale ; nous nous limitons, de ce fait, aux formations professionnelles disciplinaires.

Dans un premier temps nous avons essayé de définir des recherches calquées sur celles qui relèvent de la didactique professionnelle ; leur cadre est adapté à l'analyse de formations d'adultes, centrées sur les contenus du travail visé par la formation et il est utilisé dans des recherches en ergonomie cognitive : pour concevoir, expérimenter et évaluer des scénarios de formation, les chercheurs s'appuient sur des hypothèses concernant la manière dont se développent les pratiques et sur les contenus à transmettre en formation (nous y reviendrons plus précisément dans la première partie). Il s'est avéré qu'il nous manquait trop d'éléments pour suivre cette démarche, notamment sur ces hypothèses, qui restent toujours l'objet de recherches chez les ergonomes.

Pour compléter nos connaissances préalables à la mise en oeuvre de recherches sur la formation, nous avons mené des recherches sur les pratiques des enseignants. Nous avons commencé par analyser diverses pratiques effectives en classe de mathématiques, pour en comprendre certaines différences et certains effets (différentiels) sur les élèves. Ces

recherches ne sont pas faites de manière isolée, pour elles-mêmes : elles doivent servir à celles sur les formations professionnelles des enseignants de mathématiques, dans la mesure où ce sont leurs résultats qui permettront, entre autres, d'avancer sur la question des contenus de formation. Nous nous inspirons, mais en les complétant et en les transposant, d'éléments théoriques utilisés en didactique des mathématiques et en didactique professionnelle.

Il est temps de définir ce que nous appelons « pratiques enseignantes ». Nous réservons ce terme à l'ensemble des activités de l'enseignant qui aboutissent à ce qu'il met en oeuvre en classe et à ses activités en classe. Dans cette définition nous tenons compte des projets plus ou moins implicites activés au moment de la préparation des séances. Ces projets correspondent à une mise en actes adaptée à des contenus précis des conceptions sur les mathématiques et leur enseignement et aux propres connaissances en mathématiques de l'enseignant. Pour ces dernières les ergonomes évoqueraient plutôt le mot « compétences »⁷ en mathématiques, pour indiquer la prise en compte d'une composante du type « mise en fonctionnement » des connaissances. Nous appelons « lignes d'action » ces projets, auxquels nous ne pourrions accéder qu'indirectement, à travers leurs réalisations en classe ou à travers des déclarations des enseignants.

Le terme « pratiques en classe » désigne tout ce que dit et fait⁸ l'enseignant en classe, en tenant compte de sa préparation, de ses conceptions et connaissances en mathématiques et de ses décisions instantanées. Toutefois nous nous restreignons aux décisions conscientes ou préconscientes de l'enseignant, celles qu'il peut décrire, éventuellement après-coup. Nous spécifions par le terme « singularisation » la transformation, nécessairement singulière pour chaque enseignant, des projets ou « lignes d'action » en « pratiques en classe », qui sont, elles, en partie observables.

Ces observables, que nous appelons « les actes techniques », sont les constituants élémentaires des pratiques en classe : déplacements, écrits au tableau⁹, discours et silences, mimiques. Les discours sont à l'heure actuelle les seuls facteurs que nous avons personnellement analysés. Chevillard (1991) parle de gestes professionnels, dans un sens assez voisin, mais lié à un autre cadre théorique (anthropologique).

Reste que ce qui nous intéresse, ce sont bien ces singularisations, qui traduisent pour chaque enseignant la combinatoire originale de ses actes techniques et de ses lignes d'action lorsqu'il est confronté à un contenu donné et à la réalité d'une classe particulière (Robert, 1996b). Ce sont elles qui, en dernière analyse, traduisent les adaptations à chaque situation, et ce sont d'elles que dépendent, dans la mesure du possible, les

apprentissages des élèves. Former au métier d'enseignant serait apprendre à chacun à élaborer des singularisations adéquates à partir de la situation particulière et de connaissances générales...

Dans la partie suivante, nous présentons tout ce qui a contribué à notre proposition de cadrage théorique pour étudier les formations professionnelles des enseignants de mathématiques, dans la mesure où c'est ce qui justifie et donne sens aux premières recherches entreprises sur les pratiques des enseignants en classe. Nous présentons ensuite les recherches sur les pratiques les plus avancées dans nos travaux.

2. RECHERCHES SUR LA FORMATION PROFESSIONNELLE DES ENSEIGNANTS DE MATHÉMATIQUES ET SUR LES PRATIQUES ENSEIGNANTES : ÉLÉMENTS POUR UN CADRAGE THÉORIQUE

2.1. Premières données à la disposition des chercheurs en didactique des mathématiques

Nous allons développer successivement un certain nombre d'éléments aujourd'hui à la disposition des chercheurs, en indiquant l'utilisation qu'on peut en faire.

2.1.1. Des éléments pragmatiques issus de la pratique : à dépasser

C'est au niveau de l'action que les enseignants et les formateurs sont confrontés aux problèmes de formation. Ils disposent de ce fait d'éléments pragmatiques sur les pratiques, sans doute à préciser et à dépasser, grâce au « pas de côté »¹⁰ nécessaire pour passer de la position d'acteur à celle de chercheur. Ces « connaissances en actes »¹¹, pas toujours formalisées, ne sont cependant pas à ignorer totalement.

2.1.2. Des connaissances en didactique des mathématiques : à compléter

Pour une classe donnée, plutôt standard, la didactique des mathématiques offre des connaissances sur les rapports globaux, entre l'enseignement de certains contenus et les apprentissages qui en résultent.

Il peut être tentant de considérer qu'il y a là des éléments à transmettre qui permettront à terme d'améliorer les rapports enseignement/apprentissage. On évite ainsi l'obstacle des « convictions », souligné ci-dessus, dans la mesure où ce sont des connaissances que l'on veut transmettre, validées par des recherches et par une communauté scientifique.

C'est bien d'ailleurs ce à quoi ont pensé d'abord, presque naïvement, les didacticiens des mathématiques dans les années 80, quand les problèmes sociaux se sont posés plus âprement.

Mais encore faut-il pouvoir transmettre ce type de connaissances particulières. Même si elles sont explicitées, elles ne servent pas, comme en mathématiques par exemple, à résoudre des problèmes théoriques, « sur le papier ». Ces connaissances concernent les pratiques de l'enseignement en classe, avec de vrais élèves, en temps réel, elles mélangent savoirs théoriques et savoir-faire pratiques : on ne peut échapper à la question des modalités de leur transmission. Comment concevoir des scénarios de formation ? Comment les évaluer ?

Un simple transfert des théories de l'apprentissage disponibles pour les élèves (voir plus loin) suffit-il à aborder le problème des formations aux pratiques ? Dans quelle mesure peut-on utiliser des théories ergonomiques, qui concernent les formations à diverses professions ? Et finalement comment analyser, voire évaluer, ce que l'on veut transmettre, l'objet de la transmission, les pratiques elles-mêmes ?

Il y a là, à notre sens, un problème incontournable pour le chercheur qui veut se lancer dans des recherches sur la formation (formation à la didactique par exemple) : c'est le problème du choix de cadres théoriques, à la fois pour analyser les pratiques enseignantes et pour concevoir des formations (à évaluer ensuite). Ces problèmes ne peuvent être abordés du strict point de vue de la didactique des mathématiques. Nous allons donc maintenant exposer un autre cadre théorique dont nous nous inspirons pour compléter le précédent.

2.2. Un cadre théorique général pour les recherches sur les formations professionnelles : la didactique professionnelle

Un certain nombre de chercheurs en ergonomie cognitive ont opté pour le cadre de la didactique professionnelle (en référence aux travaux de l'équipe d'ergonomie cognitive¹² de l'université Paris 8) : c'est la réalité « formation professionnelle/pratique professionnelle » qu'on analyse, en se plaçant le plus possible en situation professionnelle réelle, en tenant compte des deux types de formation, théorique et pratique.

En effet, selon ce point de vue, une des hypothèses théoriques fondatrices est que les compétences (entendons les « bonnes » pratiques) se forment dans les rapports entre sujets et situations d'action. Mais il est possible de mettre en rapport de manière efficace les systèmes de pensée issus de l'action et ceux issus d'un savoir formalisé (Pastré, 1996). Une autre hypothèse théorique est la possibilité de définir des concepts pragmatiques¹³, conceptualisations intermédiaires opératoires pour l'action en situation et s'adaptant donc bien aux pratiques.

Plus précisément, que ce soit pour concevoir des scénarios de formation, ou pour les évaluer, il s'agit d'organiser la réalité à étudier autour de quatre pôles, savoirs de formation (disciplinaires et autres), formés (enseignants débutants), formateurs et situations de formation. Les situations de formation comportent les deux types de situations, théoriques, et d'enseignement effectif en classe. On travaille sur chacun de ces pôles et sur les relations entre eux (par exemple les savoirs des formateurs), l'ensemble étant conçu comme situé dans un cadre institutionnel donné, source de contraintes. Selon les objectifs cela mène à des ingénieries¹⁴ ou à des analyses.

Ce cadrage diffère du cadre didactique disciplinaire, dont il s'inspire structurellement, dans la mesure notamment où les situations analysées sont en vraie grandeur. De plus les « formés » ne sont pas étudiés de manière générique mais clinique, avec leurs singularités.

Il y a ainsi une centration sur le sujet de la formation (le formé), et un déplacement de ce qui est considéré comme contingent, voire négligeable dans des analyses habituelles : ici tous les aspects du déroulement en temps réel comptent.

2.3. Quelques précisions sur les pratiques enseignantes (participant au pôle « savoir de formation »)

Nous avons analysé de manière empirique les pratiques des enseignants de mathématiques par opposition aux pratiques des étudiants de mathématiques (Robert, 1996b), et nous avons dégagé des différences ou des caractéristiques des pratiques enseignantes qui sont à l'origine de certains choix théoriques ultérieurs.

2.3.1. Rapport au savoir et activité mathématique

En premier lieu les rapports au savoir mathématique des deux populations diffèrent : les objectifs des activités mathématiques des uns et des autres n'étant évidemment pas les mêmes (activités pour apprendre

pour les étudiants, activités pour faire construire quelque chose aux élèves pour les enseignants).

En particulier, la fréquentation des mathématiques n'est pas la même : il s'agit pour les étudiants de résoudre des exercices et d'apprendre certaines connaissances, bien délimitées, en mettant en jeu une dialectique classique contextualisation/décontextualisation¹⁵.

Pour les enseignants en revanche, il s'agit, dans un premier temps, d'élaborer le texte (cohérent) du savoir¹⁶ à transmettre. Il faut donc, au moins pour enseigner pour la première fois un contenu donné, trouver diverses sources (manuels, vieux cours, etc.), à comparer le cas échéant, (re)comprendre à la fois les démonstrations et ce qui est en jeu plus globalement. Puis il faut faire des choix d'organisation, d'exercices¹⁷ et d'éléments de cours. Mais dans le même temps il faut élaborer un scénario complet accroché à ce texte du savoir. Et il faut respecter le programme annuel, qui impose un certain rythme.

Ensuite, que ce soit la première fois qu'on enseigne ce contenu ou non, il faut retenir ou au moins réviser en partie ce qui a été élaboré, puis, dans un deuxième temps, en classe, le restituer, le jouer devant les élèves, tout en les animant, en les associant, en ajoutant aux strictes mathématiques divers éclaircissements. Il faut comprendre les interventions mathématiques des élèves, leurs erreurs éventuelles, improviser des explications ou même de nouvelles interventions globales, pour tenter de redonner du sens à ce qui manifestement n'en a plus.

De ce fait le rapport au savoir mathématique de chaque enseignant¹⁸ devient important à travailler dans toute sa complexité, et sa singularité, à la fois pour pouvoir reconstituer la démarche professionnelle dans son ensemble, dans ses dimensions disciplinaire et pédagogique, et pour être en mesure de donner du sens aux seules traces visibles qui s'observent pendant une séance (les pratiques restreintes à la classe). Ces traces peuvent être en effet en partie obscurcies par des décisions immédiates, dues au déroulement même du cours, et rester opaques si le travail précédent sur la situation elle-même n'est pas fait.

2.3.2. La dimension sociale et les élèves

Il s'introduit de plus une dimension sociale essentielle dans les pratiques enseignantes, que ce soit au niveau de la pratique mathématique effective en classe, qu'il s'agit de « partager » avec les élèves, ou de l'insertion dans la vie sociale du lycée.

La prise en compte des élèves, que ce soit par anticipation au moment des préparations, ou réellement pendant la classe, est une

variable incontournable pour analyser les pratiques enseignantes. C'est ce qui leur donne sens, et cela représente un changement considérable avec les pratiques étudiantes.

Ainsi, dans notre contexte particulier de formation professionnelle des enseignants de mathématiques, ce sont bien, en dernière analyse, les effets sur les élèves qui doivent servir dans l'évaluation de ces pratiques, car ce sont les apprentissages des élèves qui sont «visés». Pour les prendre en compte nous avons des indices généraux («la classe tourne») ou plus directement liés aux contenus visés («les élèves réussissent», «les élèves apprennent des mathématiques»), les mises en fonctionnement correspondant à des connaissances techniques, mobilisables ou disponibles¹⁹ (Robert, 1998).

À partir de ces recherches préliminaires, nous avons conclu que les pratiques enseignantes sont des pratiques complexes, non réductibles à des unités séparées (comme la préparation, ou le déroulement), non décomposables en mises en fonctionnement de connaissances isolées disciplinaires, didactiques, pédagogiques, etc., car des recompositions de tous ordres s'opèrent constamment. Par exemple, si la préparation d'une séance influence grandement son déroulement, il s'ajoute toujours en classe des éléments non prévisibles, qui d'ailleurs pourront à leur tour influencer les séances suivantes. Cela nous oblige à respecter cette complexité dans les analyses et leur interprétation.

De plus, les pratiques en classe sont, en grande partie, partagées avec les élèves, et le déroulement en temps réel, dans la classe, qui peut être une dimension contingente en didactique des mathématiques, devient ici une variable essentielle.

Enfin, au sein d'une même discipline, les pratiques enseignantes peuvent varier selon les contenus enseignés, pivots de nos analyses, et selon les classes en présence (pour un même enseignant, et/ou entre enseignants) : voilà également des variables que nous aurons à respecter dans nos analyses.

2.4. Une proposition de cadrage théorique

De tout ce qui précède nous retenons l'idée d'adopter, pour les recherches sur les formations professionnelles d'enseignants, un cadre de type « didactique professionnelle », mais adapté aux enseignants de mathématiques. C'est-à-dire que pour les analyses de contenus d'enseignement ou d'activités d'élèves, nous empruntons les outils de la didactique des mathématiques ; pour les analyses de pratiques nous nous référons au découpage en lignes d'action et singularisations et nous

analysons chaque composante grâce à des outils empruntés à la didactique des mathématiques mais adaptés à la spécificité de ce qui est étudié.

Qu'est-ce qui justifie ce double emprunt à l'ergonomie cognitive et à la didactique des mathématiques, dans l'état actuel de nos connaissances ?

L'analogie structurelle (étude des quatre pôles déjà cités) se comprend dans la mesure où nous retenons, pour concevoir des analyses de formation, à la fois les contenus en cause (ici contenus de formation), et les différents acteurs de la formation, étudiés en situation de formation. Nous choisissons ainsi un découpage de la réalité analogue à celui qui est proposé entre les recherches en didactique.

Les différences que nous introduisons, en suivant ici les ergonomes, concernent la centration sur le sujet « enseignant » lorsque nous analysons le pôle « formé », ou l'irruption du temps réel par exemple. Elles sont effectivement inspirées de certaines de nos analyses empiriques, préalables, des pratiques enseignantes et des analyses en ergonomie²⁰, elles se justifient par la spécificité de l'objet d'étude. Cependant, pour les analyses de situations de formation, nous manquons d'hypothèses précises sur la manière dont les pratiques, et notamment celles des enseignants, se forment.

De même, nous manquons de connaissances en ce qui concerne le pôle « savoirs de formation ». En effet, ce qui est en cause en formation, ce qui doit en résulter, ce qui est à transmettre – ou à construire – ce sont bien les pratiques en classe, qui, certes, encore une fois, résultent de savoirs disciplinaires, didactiques, pédagogiques, psychologiques mais qui sont le résultat d'une transformation originale, individuelle, de tous ces savoirs, plus ou moins bien organisée par la formation. Quels seraient les « concepts pragmatiques » dans les activités et les compétences de l'enseignant de mathématiques, pour reprendre la notion évoquée plus haut ? Que transmettre concernant l'apprentissage en mathématiques des élèves qui puisse être intégré effectivement à des pratiques individuelles ? Dans quelle mesure les explicitations sur les mathématiques données en classe, qui sont des formes de médiations particulières, aident-elles tous les élèves ou seulement certains d'entre eux ? De quoi cela dépend-il ? Tout enseignant peut-il, doit-il se taire à certains moments en classe ? Et quand ? Quels rôles peut-on faire jouer à l'écrit dans l'apprentissage des mathématiques ?

Ces quelques exemples de questions encore sans réponses illustrent notre propos précédent : des connaissances sur les pratiques enseignantes et leurs effets sur les élèves nous manquent. C'est dans ce domaine que nous avons donc développé nos recherches, et nous allons présenter ci-dessous notre problématique et notre méthodologie, en les éclairant par un exemple particulier.

3. RECHERCHES SUR LES PRATIQUES ENSEIGNANTES EN CLASSE : PROBLÉMATIQUE, MÉTHODOLOGIE ET PREMIERS RÉSULTATS

Il existe de nombreux travaux de recherche en didactique des mathématiques sur les pratiques enseignantes²¹, en France et à l'étranger, et notre point de vue n'est pas original. Pour être complet, il faudrait aussi citer les recherches menées en didactique de la physique ou du français, ce que nous ne ferons pas ici.

Sans entrer dans la discussion détaillée des différences éventuelles (Hache & Robert, 1997b), disons que nos travaux sont plus directement liés que d'autres à des préoccupations explicites de formation (en termes d'analyses du pôle « savoirs de formation »), ce qui nous amène à nous centrer sur le sujet enseignant. Nous considérons ainsi que les pratiques enseignantes sont une variable, parmi d'autres, pour interpréter ce qui se passe en classe, et nous rendons nos analyses dissymétriques, au moins dans leur chronologie, en commençant par l'enseignant.

Cependant, nous sommes amenée à croiser plusieurs points de vue, considérés comme complémentaires, celui des contenus et des situations, celui des échanges dans la classe, celui des élèves, alors que d'autres travaux se centrent de manière privilégiée, voire exclusive, sur l'un ou l'autre point de vue. Cela se justifie par des inscriptions différentes dans divers cadres théoriques. Pour G. Brousseau (1995) par exemple, l'enseignant est considéré comme faisant partie du milieu, et régulant un certain nombre d'interactions, c'est le point de vue repris par Comiti et al. (1995) ; pour Y. Chevallard (1995), il n'est qu'une pièce d'un système plus vaste, étudié de manière beaucoup plus globale dans une perspective de modélisation généralisante ; pour Voigt (1985) et Krummheuer (1988) ce sont les interactions dans la classe qui sont centrales. Pour sa part, M.-J. Perrin (1997) s'est centrée sur l'institutionnalisation. Signalons enfin des travaux en didactique de la physique autour de « tutelle et médiation » (Dumas-Carré & Weil-Barais, 1997), centrés également sur les échanges en classe de physique.

Nous allons d'abord préciser notre projet global d'analyse de pratiques, puis dégager la démarche que nous suivons pour choisir ce que nous cherchons dans les pratiques avant de donner les dimensions analysées et de définir plus précisément les variables que nous proposons de retenir. Le dernier paragraphe est consacré à l'exposition d'un exemple.

3.1. Le projet dans son ensemble : mise en relation de l'univers construit en classe par l'enseignant et des effets sur les élèves en termes d'apprentissage

Rappelons que, dans le contexte que nous avons explicité, les analyses de pratiques sont faites pour nourrir le pôle « savoir de formation », un des quatre pôles que nous avons dégagés pour analyser les formations des enseignants.

Notre projet est de chercher des variables des pratiques en classe des enseignants, dont on puisse d'une part donner une description explicite, et qui, d'autre part, soient liées de manière significative aux apprentissages des élèves²². Autrement dit, nous cherchons à dégager les facteurs qui nous semblent le mieux caractériser ce qui, en classe, est porteur ou non d'apprentissage pour les élèves, et nous analysons comment des pratiques enseignantes particulières engendrent ces facteurs.

Il s'agit ensuite de prendre en compte, pour une séance donnée, c'est-à-dire un enseignant, une classe et un contenu mathématique, l'ensemble de ces variables (c'est ce que nous appellerons « l'univers de la séance »), et de le croiser avec des effets sur les élèves, du point de vue des apprentissages. Ces variables précisent les situations proposées aux élèves, les diverses médiations engendrées dans la classe et les diverses conceptions et expertises²³ de l'enseignant, qui complètent le sens qu'on peut donner à ce qui est observé en classe.

Cette prise en compte d'un ensemble de variables vient du fait que nous pensons que ce que les élèves reçoivent n'est pas décomposé (par exemple ils ne distinguent pas le scénario des échanges avec l'enseignant ou des échanges entre eux) ; nous nous rapprochons plus de la réalité qui nous intéresse en regroupant les variables, même si nous sommes obligée de faire séparément certaines analyses. Nous faisons aussi l'hypothèse de l'existence de phénomènes de recombinaison à l'oeuvre dans le développement individuel des pratiques de chaque enseignant, à partir de toutes les formations initiales qu'il a reçues. Une autre raison pour penser que ces pratiques sont mieux approchées par des approches multidimensionnelles croisées que par des approches unidimensionnelles juxtaposées.

Les savoirs de formation correspondants seraient constitués des régularités mises en évidence, sur un contenu mathématique donné, entre des choix effectifs de ces variables ou, dit autrement, des modes particuliers de fréquentation des mathématiques et certains effets sur les élèves. Ces savoirs seraient faits de mises en relation d'effets sur les élèves et de

pratiques singulières d'enseignants, ces dernières étant caractérisées par des choix de scénarios, des modalités d'échanges, et des conceptions, sur des contenus mathématiques donnés, dans des classes données.

Nous n'avons pas mené à bien ce projet en entier car nous ne nous sommes pas encore donné les moyens d'étudier les effets sur les élèves. Mais nous avons commencé à analyser les pratiques dans l'optique ci-dessus, c'est ce que nous expliquons maintenant.

3.2. Notre problématique d'analyse des pratiques

Il s'agit d'abord d'explicitier notre démarche d'analyses de pratiques : qu'allons-nous choisir pour réaliser notre projet global de reconstitution de ce qui, en classe, est le plus en rapport avec l'apprentissage des élèves ? Nous revenons pour cela aux « sources », en retenant (et complétant) pour caractériser ce que nous cherchons, ce qui a déjà été dégagé en didactique des mathématiques. Reste alors à préciser les dimensions correspondantes, qui feront l'objet d'observations et d'analyses – ce sont les scénarios, les échanges en classe, et les conceptions des enseignants. Nous terminons par l'énumération des variables attachées à chacune de ces dimensions.

3.2.1. Démarche globale

Du côté des enseignants, nous avons adopté, pour cette recherche de variables, la démarche suivante : nous avons des hypothèses didactiques sur les apprentissages, nous les « déclinons » du côté des pratiques enseignantes, et cela nous donne les dimensions à analyser, traduites en variables.

Autrement dit, nous analysons systématiquement, d'après nos hypothèses didactiques, dans les pratiques des enseignants, ce qui peut être à l'origine ou provoquer tout ce qui, dans les activités des élèves, est à prendre en compte pour comprendre leurs apprentissages : activités de résolution de problèmes (plus ou moins autonomes), écoute de l'enseignant (plus ou moins préparée par des activités préliminaires), échanges avec les autres élèves (plus ou moins importants), etc.

Ce ne sont pas des recherches de type « ingénierie » dans la mesure où elles sont centrées sur l'enseignant étudié pour lui-même, qu'elles concernent des séances ordinaires, non préparées par le didacticien, et que la variable « temps réel » est introduite en tant que telle (car c'est le déroulement effectif qui est étudié).

Précisons sur un exemple : si nous avons comme hypothèse que les apprentissages des élèves sont fonction du fait qu'ils travaillent de manière

autonome à certains moments bien particuliers, alors, ce que nous étudierons sur les pratiques, c'est le fait que les enseignants se taisent ou non, et à quel moment. La variable correspondante sera le « silence de l'enseignant », ou le « caractère a-didactique de la situation » si la séance étudiée se prête à une description en termes de théorie des situations.

Rappelons que pour nous, les apprentissages en mathématiques traduisent, et se traduisent par la conceptualisation des élèves (Vergnaud, 1995) : ainsi ce que nous avons à décliner tient à la spécification aux mathématiques des théories plus générales sur l'apprentissage²⁴.

Or, ce qui est en jeu pour nous en mathématiques, ce qui est à la source de la conceptualisation et ce qui en sera le témoin, c'est la dynamique entre mathématiques contextualisées et mathématiques décontextualisées, telle que les élèves la jouent, d'abord en classe, puis éventuellement hors de la classe de mathématiques. Nous nous plaçons du double point de vue des contenus et des activités (action ou écoute, travail mettant en jeu des outils ou des objets, à divers niveaux de représentations symboliques). Avec l'idée que la réorganisation des nouvelles notions parmi les connaissances acquises fait partie intégrante de la conceptualisation, au même titre que les généralisations plus classiquement associées aux décontextualisations. Cette réorganisation est traduite par une certaine disponibilité des connaissances dans les mises en fonctionnement des élèves : ainsi le fait de mobiliser des connaissances « sur commande » traduit déjà une certaine acquisition, une certaine décontextualisation, mais peut-être pas la conceptualisation attendue ; en revanche, celle-ci serait associée au fait d'avoir des connaissances disponibles, qu'on peut utiliser sans en avoir eu l'indication, ce qui est un signe de la réorganisation attendue des acquis.

Cette dynamique et cette réorganisation, qui sont au coeur de la conceptualisation en mathématiques, sont engendrées par l'ensemble des activités mathématiques proposées aux élèves par l'enseignant ; elles sont aussi testées par des mises en fonctionnement, qui deviennent témoins des apprentissages. Quand nous parlons d'activités, soulignons que nous entendons non seulement le contenu de l'activité, par exemple l'énoncé qui est proposé aux élèves, mais tout autant sa forme, la manière dont les élèves travaillent pendant cette activité, tous les échanges auxquels elle donne lieu. « Tout cela » c'est l'enseignant qui l'organise, en classe et même, en partie, en dehors de la classe (même s'il reste bien entendu à chaque élève à s'approprier ensuite ce qui a été ainsi fourni, et si cela ne se passe pas toujours comme c'était prévu !)

C'est précisément ce « tout cela » que nous voulons reconstituer à travers nos analyses de pratiques en classe : nous voulons approcher la manière dont les élèves fréquentent les

mathématiques, établir à quelles dialectiques entre le contextualisé et le décontextualisé ils sont confrontés, prévoir quelles organisations ils peuvent être amenés à construire, tout en appréciant, autant que faire se peut, les formes de cette fréquentation.

Du côté des élèves, il s'agit, autant que faire se peut, d'anticiper puis de repérer les effets des séances analysées, cet aspect n'étant pas encore développé dans nos recherches effectives. Différentes traces, directes ou indirectes, sont envisageables, pour cerner ce que les différents élèves ont retenu, ou ce qui les a plus ou moins impressionnés. Les différents niveaux de fonctionnement des outils mathématiques à l'oeuvre dans les productions des élèves seront une des variables pour mesurer les effets des pratiques.

De certains travaux de sociologie (Bautier & Rochex, 1996), nous retenons en particulier l'importance, pour comprendre ce qui peut se passer chez les élèves, de leur rapport au savoir, et l'existence de décalages entre le point de vue de l'enseignant et celui des élèves. Citons le décalage éventuel entre les tâches prescrites par l'enseignant et les activités effectives de certains élèves²⁵, qui ont cependant effectué la tâche : l'enseignant peut ne pas percevoir, car ce n'est pas transparent, que les élèves ne se sont pas livrés à l'activité intellectuelle qu'il associe à l'effectuation de la tâche²⁶. Nos analyses doivent en tenir compte.

3.2.2. Les dimensions définissant l'univers d'une séance

La conceptualisation des élèves, qui est, de notre point de vue, l'objectif final des apprentissages, dépend donc en partie des pratiques des enseignants, de la manière dont ils font fréquenter les mathématiques aux élèves, de ce que nous avons appelé les univers des séances, et qui sont l'objet de nos recherches. Nous devons maintenant préciser les moyens que nous nous donnons pour avoir accès à ces « univers ».

Il se trouve qu'on insiste beaucoup en didactique sur certaines organisations de l'enseignement jugées efficaces pour l'introduction de nouvelles notions, notamment pour les concepts qu'on peut faire aborder par des problèmes posés avant le cours²⁷ et cherchés par les élèves de manière relativement autonome. Dans ce cas, la dynamique précédente est initialisée par des activités d'élèves contextualisées. Les premières ingénieries didactiques ont consisté à élaborer des situations expérimentales mettant en jeu ces propositions. **Il s'avère que les dimensions introduites pour élaborer et tester ces situations particulières (en matière d'analyses de scénarios, de tâches et d'activités) peuvent être reprises et complétées**, en s'appuyant sur les mêmes hypothèses et sur des caractéristiques analogues, pour analyser des séances ordinaires, ou des séances portant sur des notions peu propices à des introductions du type

précédent. C'est exactement ce que nous faisons, en recherchant précisément ces dimensions dans les pratiques des enseignants qui les induisent. En particulier, nous inspirant de ces ingénieries, nous tenons pour fondamental de déterminer les manières dont l'enseignant :

- introduit les nouvelles notions, en liaison avec les acquis antérieurs,
- expose, organise et réorganise les connaissances en jeu, d'un point de vue magistral,
- essaie de faire fonctionner les connaissances à travers les activités qu'il propose aux élèves,
- planifie les formes de travail des élèves en classe.

Déterminer une fréquentation des mathématiques, c'est, en premier lieu, décrire les mises en fonctionnement des mathématiques explicitement proposées aux élèves.

Ainsi, nous nous intéressons d'abord à ce qui est proposé aux élèves pendant une séance en termes de contenus mathématiques, en y incluant la gestion correspondante adoptée par l'enseignant en classe. Les situations de classe sont traduites par les scénarios constitutifs des séances, et elles sont caractérisées par la suite des activités mathématiques proposées aux élèves : cela comprend les contenus abordés, leur chronologie, et la gestion qui en est faite. Voilà un élément décisif pour reconstituer nos univers. Car ces scénarios décrivent ce que nous évoquions ci-dessus en termes d'introduction des notions, d'exposition des connaissances, de gestion des activités des élèves et nous donnent ainsi un certain accès à ce que nous pensons être déterminant dans les mises en fonctionnement mathématiques proposées aux élèves, telles qu'elles semblent prévues par l'enseignant.

De plus, et cela peut apparaître comme un complément par rapport à certaines recherches en didactique, nous considérons aujourd'hui que, pour analyser les apprentissages (et par suite les pratiques), la prise en compte de dimensions plus locales que les précédentes, liées aux déroulements précis en classe et à toutes les médiations (symboliques et/ou langagières) qui peuvent se jouer, est indispensable. Trop d'éléments échappent aux seuls scénarios, qui tiennent à la qualité précise des échanges accompagnant les diverses activités mathématiques. Ces facteurs peuvent en effet contribuer aux apprentissages dans la mesure où ils participent aux dynamiques²⁸ déjà évoquées, rendues par exemple plus ou moins explicites dans un discours.

La fréquentation des mathématiques est aussi liée à tous les accompagnements qui sont donnés en classe. Autrement dit, nous intégrons à notre définition des univers *des dimensions liées aux échanges*

qui se jouent en classe, à la forme des enseignements, etc. Cela se traduit par des analyses des échanges ayant lieu entre l'enseignant et les élèves («cours» du professeur, questionnements de tous ordres), et entre les élèves.

Enfin, **les conceptions des enseignants interviennent elles aussi dans la fréquentation des mathématiques construite en classe.** Ces facteurs, qui préexistent en amont de la situation de classe, donnent une certaine coloration particulière, assez constante, aux pratiques quotidiennes explicites ; ils permettent peut-être d'interpréter ce qui se joue en classe en donnant une certaine consistance, une certaine unité à ce qui n'apparaît à l'observateur que de manière morcelée, isolée, et indirectement, à travers les préparations et les improvisations en classe.

Ainsi, compte tenu de nos hypothèses didactiques et de la réalité d'une séance de classe, nous avons choisi de travailler sur des observables, traduits par des variables, liés aux dimensions suivantes :

– **les activités des élèves** organisées par l'enseignant **sur des contenus mathématiques précis** (ce que nous résumerons en parlant de scénarios, du côté de l'enseignant). Ces activités des élèves correspondent à des mises en fonctionnement des mathématiques, qu'on peut analyser *a priori* et *a posteriori* ; elles comportent des phases d'action mais aussi des phases d'écoute ; ce sont à travers elles que, par exemple, les élèves peuvent être confrontés ou non à des généralisations, ou à des réorganisations de connaissances ;

– **tous les échanges dans la classe** et toutes les aides explicites que peut apporter l'enseignant, par ses discours notamment (médiations) ;

– **les conceptions des enseignants sur les savoirs et l'enseignement, ainsi que leur expertise disciplinaire.**

Telles sont les trois grandes dimensions qui vont intervenir pour définir les variables que nous retenons, c'est ce que nous allons détailler maintenant.

3.2.3. Variables liées aux activités mathématiques des élèves pendant une séance et aux contenus abordés

Quelles variables précises dégager et analyser ? Elles doivent nous permettre d'avoir accès, à partir de ce dont nous pouvons disposer (transcriptions des séances par exemple), aux facteurs globaux cités plus haut, comme la reconstitution du scénario de la séance proposé par l'enseignant. Elles doivent nous permettre de caractériser aussi bien une séance « ordinaire » qu'une ingénierie didactique.

Les activités des élèves, provoquées par les enseignants, peuvent être très diverses. Elles peuvent être associées à des exercices (et/ou des problèmes) : ce qui nous intéresse tient alors à la fois aux modalités du travail et à la description précise des contextualisations proposées, simples applications ou adaptations, ou même transformations²⁹ d'objets ou d'outils. Elles peuvent être liées à des expositions de connaissances (on parle d'institutionnalisation s'il s'agit de situations au sens de Brousseau (1986) ou Douady (1986, 1994) : ce qui nous intéresse tient alors aux choix des connaissances exposées et aux liens entre cours et activités. Elles peuvent être aussi des contrôles, à analyser du point de vue des contenus et des modalités d'insertion dans le travail de la classe, etc.

Nous devons aussi pouvoir repérer, dans les activités, tous les moments (s'il y en a) où les élèves sont invités à travailler seuls sur des problèmes (phases a-didactiques), la gestion de l'enseignant pendant ces phases de recherche étant précisée. L'exposition des connaissances, qui suit éventuellement un tel moment, est aussi objet d'intérêt particulier : il s'agit d'y rechercher les liens établis par l'enseignant entre des activités préliminaires et un cours. Mais il y a aussi des situations sans moments a-didactiques, où les exercices sont des exercices d'application, classiques, que nous voulons analyser sur le plan des contenus.

Le degré de liberté des élèves dans la mise en fonctionnement des notions, qui correspond aux initiatives mathématiques qui leur sont laissées, l'existence de changements de cadres ou de registres, sont aussi, pour nous, des renseignements très importants.

Évidemment, la valeur de ces indicateurs n'est pas intrinsèque : elle est à mettre en rapport avec le statut précis des notions visées par l'enseignement.

Pour satisfaire à toutes les exigences qui précèdent, nous proposons **des analyses, chronologiques, des tâches et activités³⁰ proposées aux élèves, en complétant les analyses *a priori* (faites indépendamment du déroulement) par des analyses *a posteriori*, faites à partir du déroulement de la séance, tenant donc compte de la gestion effective de la classe.** Une grille d'analyse est jointe en annexe, un peu plus précise que ce que nous indiquons ici. Chaque élément de ces analyses correspond à une variable des pratiques, dont la « valeur », pour une séance analysée, est donnée par le choix fait par l'enseignant sur cette variable pendant cette séance.

Nous précisons d'abord **le contexte mathématique d'une séance** : cela nous amène à dégager, pour chaque situation, **le statut de la notion étudiée³¹**, c'est-à-dire **sa fonction potentielle** dans le paysage mathématique des élèves et **son degré de nouveauté** pour les élèves, compte tenu des programmes notamment.

Nous analysons ensuite **le scénario** dans sa logique globale, quitte à regrouper plusieurs séances pour la dégager. Cela permet de décrire l'enchaînement choisi par l'enseignant, les durées respectives et les contenus des activités des élèves et de l'enseignant.

Nous définissons ensuite, plus finement, les types de variables qui suivent.

Des variables liées aux formes de travail proposées aux élèves et à leur durée respective : par exemple les élèves cherchent un exercice un petit moment à leur place, individuellement ou à plusieurs, ou l'enseignant corrige ou envoie un élève au tableau pour corriger un exercice déjà travaillé, ou encore l'enseignant mène un « cours dialogué », entremêlant questions aux élèves et interventions magistrales, etc.

Des variables liées aux énoncés (tâches) proposés aux élèves :

- la place par rapport aux connaissances des élèves,
- le degré d'ouverture et les liaisons des questions entre elles, les étapes éventuelles,
- les cadre(s) et registre(s) impliqués,
- les raisonnements à mettre en oeuvre, les outils ou les méthodes à utiliser,
- la production demandée.

Des variables liées aux activités attendues des élèves sur une tâche donnée :

- ce qu'il faut mettre en oeuvre pour entrer dans la tâche (ce peut être une reconnaissance, un dessin, une interprétation, une conjecture, une modélisation etc.),
- ce qu'il faut mettre en oeuvre pour la résolution (ce peut être une application de théorème sans adaptation, sinon il s'agit d'apprécier le degré d'adaptation ou de transformation des outils ou des méthodes qui sont nécessaires),
- les initiatives que les élèves ont à prendre,
- les moyens de contrôle, internes à l'énoncé, que les élèves ont à leur disposition.

Des variables liées aux activités effectives des élèves, a posteriori : il s'agit de répondre aux questions du genre : qui a fait quoi (entre l'enseignant, les élèves, un élève) ? Comment intervient l'enseignant par rapport aux consignes ?

Des variables liées au contrat de la classe, qui éclairent certaines consignes, majorant ou minorant certaines demandes de l'enseignant. Les habitudes explicites qui se sont créées dans la classe permettent un certain accès à ces variables.

Toutes ces variables, plus ou moins faciles à déterminer, permettent bien, nous semble-t-il :

- de préciser, tâche après tâche, ce que les élèves ont à faire et, plus ou moins, ce qu'ils ont fait, donc d'avoir accès à ce qui peut entrer en compte dans le processus de conceptualisation enclenché par l'enseignant,
- de recomposer ces renseignements, notamment pour analyser la présence ou l'absence de certaines phases, jugées, en didactique des mathématiques, particulièrement importantes pour l'apprentissage.

3.2.4. Variables liées aux échanges et aux médiations construites en classe

Plusieurs dimensions doivent être prises en compte :

– les échanges entre élèves, dans la mesure où ils dépendent des pratiques enseignantes, et en particulier où ils peuvent avoir lieu, ce qui est déjà pris en compte dans le scénario (dans les formes de travail). Nous n'abordons pas ici cette dimension, faute de travaux suffisants ;

– les analyses des échanges entre professeur et élèves se font grâce à la détermination de variables liées à la gestion de tout ce qui donne lieu à questionnement, quelle qu'en soit la forme ;

– enfin, les discours des enseignants sont un des lieux privilégiés d'échange en classe, et c'est en leur sein que vont être dégagées d'autres variables pouvant traduire des choix significatifs en matière de médiation.

Pour traduire ces deux dimensions, nous avons dégagé quatre types de variables, qui sont attachées au discours de l'enseignant.

Une première variable permet de repérer la «**fonction du discours**» qui caractérise le rapport entre les mathématiques visées et le mode de présentation de l'enseignant. Ainsi repérons-nous si le discours de l'enseignant est seulement informatif (il livre des informations mathématiques, quelle qu'en soit la nature) ou si l'enseignant y ajoute des éléments, y compris non strictement mathématiques. Ce peuvent être des phrases (ou morceaux de phrases) qui lui servent à structurer ses informations (dans le temps), ou encore des argumentations, des commentaires, des explications, des ouvertures à la réflexion.

Une deuxième variable nous permet de caractériser la dynamique entre les mathématiques contextualisées et décontextualisées qui se joue

dans le discours de l'enseignant. C'est ce que nous appelons « **l'objet du discours** ». Nous repérons, au niveau des phrases, celles qui portent sur du contextualisé (ou bien du décontextualisé) et celles qui permettent de faire le lien entre des mathématiques contextualisées (outil utilisé dans un exercice par exemple) et des mathématiques décontextualisées (texte d'un théorème par exemple). En particulier, deux phénomènes intéressants peuvent apparaître (ou non) : l'intervention de mathématiques décontextualisées pendant un exercice, et l'utilisation de phrases faisant le lien avec les mathématiques contextualisées dans des moments d'exposition des connaissances (décontextualisées).

La troisième variable, appelée « **teneur du discours** », sert à repérer le type de langage utilisé par l'enseignant : langage mathématique très proche du langage symbolique, ou langage plus familier, ou proche de la langue usuelle. Cette recherche se justifie par la difficulté qu'ont certains élèves à utiliser le langage autrement que comme moyen de communication au niveau de l'action. On peut se demander si pour eux l'utilisation orale d'un langage très proche du langage mathématique (à quelques mots près) n'est pas très difficile, ou si au contraire, ce n'est pas très bénéfique, car cela les force à se placer d'emblée dans un plan symbolique.

Enfin **les questions**, qu'elles viennent des élèves ou de l'enseignant, sont analysées en termes de fréquence, forme de la sollicitation (individuelle, collective, personnalisée), nature de la sollicitation (demande d'information, évaluation, demande d'explication, de commentaires), portée (la question appelle une réponse immédiate ou non, en un, deux ou trois mots ou une phrase), exigences sur les réponses, et exploitation (étude du devenir de l'ensemble « question/réponses »).

Il n'est pas exclu que nous soyons amenée à compléter ces variables en tenant compte du vocabulaire ou de certaines formes de discours utilisées (dimensions pragmatique et énonciative), qui peuvent contribuer à des écoutes différentes de la part des élèves.

3.2.5. Variables liées aux conceptions du savoir et de l'enseignement et à l'expertise mathématique de l'enseignant qui sont actualisées dans la séance

Les dimensions du côté de l'enseignant sont révélées par ses lignes d'action (expertise « pédagogique ») et son expertise mathématique³².

On utilise des entretiens et les observations en classe, une grille précise correspondant aux questions à poser sur chaque séance (précisant les attentes de l'enseignant) est jointe en annexe (elle complète la grille précédemment citée).

Nous essayons de cerner ce que l'enseignant fait comme mathématiques à propos de la séance, avant le cours et pendant. Comment prépare-t-il ? Quelles sources utilise-t-il ? Quelles modifications effectue-t-il ? Est-ce que réciter des mathématiques nécessite pour lui une activité mathématique ? De quel ordre ? Quelle activité est mise en jeu par le fait de comprendre des mathématiques, écrites ou dites ? Qu'en est-il des réorganisations du savoir, du choix des exemples, ou des exercices, de l'écriture d'un texte complet ?

3.3. Un exemple : analyses de pratiques d'enseignants de mathématiques en seconde (sur les vecteurs)

Pour l'instant nous n'avons pas encore mené de recherches complètes comme elles sont prévues ci-dessus : les expériences où nous donnons les moyens de regarder les caractéristiques des enseignants et les effets sur les élèves sont en cours. Nous allons donc illustrer seulement la première partie de notre programme.

Notre exemple concerne des analyses de pratiques en classe de seconde, où nous essayons de dégager, à partir de séances d'introduction aux vecteurs menées par quatre enseignants différents, les univers mathématiques qui sont construits dans les classes.

En seconde, l'enseignement concerne encore une grande partie des élèves, sans spécialisation, mais leur âge (15-16 ans) réduit les interventions non mathématiques des enseignants. Il y a beaucoup moins d'interventions sur la discipline (« *taisez-vous* ») ou sur l'animation (« *sortez vos cahiers* ») qu'en collège.

Ces recherches ont été menées en collaboration avec C. Hache (Hache & Robert, 1997a, 1997b) et avec l'aide de quinze enseignants et formateurs des IUFM (Instituts Universitaires de Formation des Maîtres) des académies de Versailles et de Paris.

Des professionnels ont filmé plusieurs séances (sur l'introduction des vecteurs et sur l'introduction des fonctions) dans quatre classes de seconde de quatre établissements différents de l'académie de Versailles - établissements plutôt standards. Nous disposons des transcriptions des séances. Deux vidéo sont tournées pour une séance – une centrée sur l'enseignant, l'autre sur les élèves. Chaque paire de vidéo est accompagnée d'un document où l'enseignant explique plus ou moins son projet pour la séance et le situe dans l'année. Chaque vidéo « enseignant » est transcrite ; il faut remarquer que c'est d'ailleurs surtout sur les transcriptions que nous avons travaillé jusqu'à présent, les vidéo permettant de préciser des détails de déroulement et la chronologie.

3.3.1. Méthodologie utilisée pour analyser les situations et les discours de l'enseignant en classe de mathématiques

Ce sont les mathématiques en jeu dans la séance qui sont analysées d'abord, ce qui permet de dégager des épisodes successifs associés aux tâches proposées aux élèves (y compris la tâche « écouter l'enseignant exposer des connaissances »), pour reconstituer les scénarios.

Les analyses précises des tâches et activités constitutives des scénarios se font *a priori* et *a posteriori*, essentiellement à partir des transcriptions.

Il s'agit ensuite de compléter ces renseignements en étudiant certaines caractéristiques du discours de l'enseignant qui spécifient la qualité des échanges en classe. Pour cette étude, nous travaillons sur chaque épisode ; nous établissons un étiquetage de chaque phrase (ou morceau de phrase) selon sa fonction, sa teneur et son objet, en affectant comme « unité » pour nos comptages une demi-ligne de transcription. Nous construisons les tableaux de fréquence pour chaque dimension et dressons les tableaux croisés des dimensions prises deux à deux. C'est à partir de ces matériaux que nous regroupons et croisons certains des renseignements obtenus, et que nous dégageons les univers recherchés – il manque ici la prise en compte de caractéristiques individuelles des enseignants et les effets sur les élèves.

3.3.2. Quelques résultats

Nous résumons ici le début des résultats de nos recherches sur le thème « vecteurs » : nous n'allons pas reprendre toutes les variables, mais indiquer certaines analyses et donner quelques conclusions, notamment comparatives. Rappelons qu'il manque l'analyse des effets sur les élèves et celle des diverses conceptions et expertises enseignantes.

Le concept de vecteur est difficile à introduire en seconde : il a un statut généralisateur et formalisateur. Il n'y a pas de problèmes pouvant donner sens pour les élèves à la nécessité ou à l'intérêt de compléter la définition des vecteurs donnée au collège en termes de direction, sens et longueur (et classes d'équivalence implicites) : la généralisation proposée se raccroche mal aux connaissances antérieures. De plus, les vecteurs sont considérés aussi d'un point de vue algébrique, ce sont des éléments, notés par une seule lettre au lieu de deux comme avant, qu'on peut additionner entre eux et multiplier par un scalaire réel, avec les propriétés liées à la structure (implicite ici) d'espace vectoriel. Ce sont essentiellement des arguments de structure (formelle) qui justifient ce rajout formalisateur, et c'est précisément ce que les élèves ne peuvent concevoir tout seuls.

Du coup les manuels font précéder les nouvelles connaissances sur les vecteurs de toutes petites activités, qui sont des révisions, ou qui font intervenir à l'avance un petit élément nouveau qui sera repris « officiellement » plus loin (notamment en ce qui concerne la multiplication par un scalaire).

Les enseignants reprennent plus ou moins ce type de tâches, qui, sans être directement liées aux nouvelles connaissances à introduire, remettent au moins les idées des élèves au clair sur les connaissances des vecteurs héritées du collège.

Les quatre séances que nous avons analysées révèlent des différences sur :

– **les scénarios** ; ce ne sont pas tellement les activités proposées au début du chapitre sur les vecteurs qui diffèrent, il n'y a en effet pas trop de choix. Les différences portent sur l'imbrication de ces activités dans l'introduction de ce qui est nouveau. Selon les séances, cette imbrication peut être progressive, et explicite, ou au contraire peu différenciée et vague. Pour caricaturer, cela correspondrait aux pôles suivants : dans un cas, à chaque type d'exercices on associe un petit morceau de cours nouveau, dans l'autre cas on fait faire un paquet d'exercices au début et on institutionnalise le tout ensuite ;

– **les fonction, objet et teneur du discours** ; dans les discours des enseignants pendant ces séances, les fonctions (définies ci-dessus) ont des répartitions assez voisines. Cela nous semble tenir en partie au statut de la notion, rappelé ci-dessus. L'enseignant est toujours amené à faire beaucoup d'information, car les élèves n'ont pas grand-chose à leur disposition pour anticiper seuls des connaissances nouvelles. Seule la part de structuration dans les discours varie beaucoup selon les enseignants. En revanche, toujours selon les enseignants, l'utilisation d'un vocabulaire proche du vocabulaire mathématique est très diverse : cela va des deux tiers des phrases pour un enseignant, à seulement le quart pour un autre ! De même les enseignants gèrent très différemment la dynamique entre mathématiques contextualisées et décontextualisées, ainsi que les liens entre les deux. Les uns réservent aux exercices les premières et aux expositions de cours les secondes, sans beaucoup de liens, les autres ont des utilisations beaucoup plus variées, accompagnant souvent des scénarios progressifs et explicites déjà cités ;

– **les questions** : elles différencient beaucoup les séances, occupant de 10 % à 25 % des discours. Cependant, elles portent très peu sur la fonction de structuration des connaissances, quels que soient les enseignants.

Un autre résultat concerne **l'importance des prévisions dans le déroulement d'un épisode** : tout se passe comme si l'enseignant était surtout influencé pendant le déroulement par l'idée qu'il s'était faite de cet épisode avant la séance.

Enfin, un regroupement des résultats sur les scénarios et les discours permet d'esquisser quelques types « **d'univers mathématiques** » que les enseignants font fréquenter à leurs élèves. Donnons deux exemples.

Nous avons rencontré « **l'univers des mathématiques commentées** ». Il correspond aux scénarios où le nouveau est introduit de manière précise, en lien explicite avec des exercices qui viennent d'être faits, où l'enseignant accompagne les élèves par beaucoup de discours non strictement mathématiques, structure beaucoup, sollicite beaucoup, y compris sur des argumentations.

À l'opposé, nous avons repéré un « **univers manuel animé** ». Dans ces séances le nouveau n'est pas introduit précisément, les discours sont peu différenciés, il y a peu de structuration, le vocabulaire est assez direct et relève des mathématiques contextualisées pendant un exercice et décontextualisées dans un épisode d'exposition des connaissances. Il y a peu de liens entre les deux. Tout se passe comme si le texte du savoir était simplement parlé, il est très découpé, présenté de manière très linéaire, et il reste, semble-t-il, à l'élève beaucoup à faire pour combler la distance entre les exercices et les cours.

Ces constats ne prendront cependant tout leur intérêt que lorsque nous les compléterons par des analyses du côté des élèves. En effet on peut se demander, par exemple, quels élèves sont aidés par des explications méta-mathématiques riches, et quels élèves, en revanche, cela prive de faire seuls les réflexions induites par ces explications.

4. EN CONCLUSION : UNE GRANDE QUESTION ABSENTE DE NOTRE REVUE DE PROBLÈMES

Nous avons exposé ici les premiers éléments de cadrage théorique permettant d'analyser les pratiques des enseignants en classe de mathématiques, ces analyses étant à notre avis préalables à des recherches sur la formation professionnelle des enseignants de mathématiques.

Nous proposons d'utiliser, pour analyser les pratiques en classe, les dimensions déjà dégagées en didactique des mathématiques pour analyser les apprentissages. Nous avons constaté que les premières

recherches étaient porteuses de résultats : en particulier, sur un même contenu, les enseignants ne font pas fréquenter les mathématiques aux élèves d'une seule façon. Il reste encore bien des inconnues, depuis l'influence des contenus ou des classes sur ces différences, jusqu'aux effets sur les élèves.

Cependant, il manque, à notre tour d'horizon général, une autre interrogation très importante, qui s'insère tout naturellement à ce stade de notre questionnement : c'est celle de l'utilisation des recherches sur les pratiques, de leur retombée, en formation notamment. Cette question se pose, qu'elle soit à aborder ou non par des recherches.

Il y a sans doute bien des obstacles à la transmission directe des connaissances supplémentaires obtenus à partir des recherches sur les pratiques enseignantes en classe. Parmi ceux-ci, nous voulons citer la non transparence éventuelle des démarches de la recherche, les limites et les modalités d'application éventuelle, qui n'en sont pas précisées, et surtout la rupture déjà signalée entre connaissance théorique et pratique.

En particulier, ce n'est pas parce que l'on sait, théoriquement, que quelque chose se passe de telle ou telle façon, qu'on peut en tenir compte dans ses propres pratiques – ou du moins ce n'est pas certain, il faut concevoir la manière d'en tenir compte, il faut aussi l'appliquer effectivement !

Beaucoup d'écrits ont été produits sur cette question. Certains chercheurs proposent d'impliquer les enseignants dans les recherches dont on voudrait qu'ils tirent parti – ou au moins de travailler explicitement à leur diffusion, de manière active (Hubermann, 1992). D'autres pensent qu'une initiation à la recherche suffirait pour enclencher les phénomènes de transmission de recherches ultérieures. Pour nous la question reste ouverte.

NOTES

1. Nous nous sommes intéressée, en premier lieu, à la formation professionnelle initiale, dans la mesure où elle est obligatoire pour tous les futurs enseignants recrutés par concours (ce qui est la voie standard) mais la formation continue est aussi à envisager.

2. Nous citerons des recherches sur les futurs professeurs d'école, mais nos propres recherches concernent les enseignants de mathématiques de lycée et de collège.

3. Elles ont lieu en deuxième année d'IUFM, après la réussite à la partie théorique du concours de recrutement qui se passe après la licence (ce dernier diplôme est passé trois années après le baccalauréat).

4. Sauf en troisième et en terminale, à la fin de l'année au moins, et sauf en cas de contrôles communs.

5. Citons par exemple une étude récente d'un sociologue G. Felouzis (1997), qui « mesure » l'effet enseignant sur l'apprentissage des élèves en mathématiques en classe de seconde et lui accorde une importance de 15 à 20% sur les apprentissages.

6. L'excellent ouvrage « *Pourvu qu'ils m'écoutent* », recueil de mémoires professionnels de PLC2 publié par Davisse & Rochex en 1995 contribue bien à notre connaissance de cet état d'esprit.

7. Voir le numéro 123 de la revue *Éducation permanente* sur les compétences.

8. Ceci sera précisé lorsque nous aurons choisi un cadre théorique adapté à nos questions nous permettant de découper la réalité et donc de spécifier ce que nous retenons dans « le dit et le faire ».

9. Citons le mémoire de DEA de E. Roditi (1996) sur la question de l'utilisation du tableau.

10. Cf. Y. Chevallard, (1985).

11. Pour reprendre l'expression que G. Vergnaud (1992) utilise pour les élèves dans l'expression « *théorème en actes* ».

12. Citons pour information le numéro 123 de la revue *Éducation permanente*.

13. Voir Pastré & Samurçay, (1995).

14. Propositions de séances effectives, basées sur des hypothèses explicitées, à tester expérimentalement.

15. On parle de mathématiques contextualisées pour indiquer que les notions correspondantes sont mises en fonctionnement comme outils spécifiés au problème dans des problèmes ou des exercices (Douady, 1986). On parle de mathématiques décontextualisées lorsque les notions interviennent comme objet général, que ce soit dans des définitions, des théorèmes ou des propriétés. On peut utiliser correctement un outil sans connaître bien l'objet correspondant ; cela contribue à construire cette connaissance. On peut avoir des difficultés à mettre en fonctionnement, dans des contextes particuliers, un objet déjà en partie connu. L'acquisition de la notion implique et est impliquée par cette dialectique, elle correspond à une généralisation des connaissances particulières, à leur réorganisation au sein des autres connaissances et à la possibilité de mises en fonctionnement diverses.

16. L'expression « *texte du savoir* » ne fait pas référence au seul texte écrit à la fin par les élèves ou l'enseignant mais à l'ensemble du savoir à enseigner.

17. C'est-à-dire d'activités de recherches ou d'activités de familiarisation ou d'évaluations, sous formes d'exercices, problèmes, en classe ou en modules ou à la maison.

18. Compris au sens large, avec y compris la compétence mathématique, et les activités mathématiques propres de l'enseignant.

19. Nous parlons de connaissances mobilisables pour indiquer que les élèves peuvent les utiliser correctement mais à la demande, alors que nous parlons de connaissances disponibles pour indiquer que cette utilisation peut être improvisée par les élèves, à bon escient, sans aucune indication externe.

20. Les ergonomes parlent d'activités là où nous parlons de pratiques.

21. Ainsi plusieurs écoles d'été de didactique des mathématiques ont développé ce thème.

22. Que ce soit de manière différentielle ou non.

23. Nous utilisons ce mot pour désigner à la fois les compétences et les savoirs mis en jeu en classe par les enseignants.

24. Nous nous référons aux théories constructivistes, interactionnistes, mais aussi aux théories de Vygotski (1985).

25. Les ergonomes introduisent une distinction analogue entre tâche et activité, au niveau des professionnels.

26. Cela n'est pas sans rappeler le décalage entre un discours d'enseignant assez décontextualisé et une écoute d'élèves beaucoup plus contextualisée, à l'insu de l'enseignant, mis en évidence dans des travaux de didactique des mathématiques (Comiti et al., 1995).

27. Ces problèmes sont construits soigneusement, ils doivent comporter des éléments d'autovalidation si on se place dans la perspective de G. Brousseau (1986), ou faire mettre en fonctionnement, sous forme d'outils implicites, les objets visés dans la perspective de R. Douady (1986).

28. Contextualisation/décontextualisation, organisation.

29. Les cadres et registres engagés sont alors systématiquement analysés.

30. Les tâches sont associées à des énoncés mathématiques, elles sont décrites sur le mode mathématique, les activités sont associées à ce que font les élèves pour résoudre une tâche. La distinction stricte n'est pas toujours facile à faire.

31. Soulignons l'importance de tenir compte des différents statuts des contenus abordés en mathématiques : extension de concepts, concepts réponses à un problème, concepts formalisateurs, généralisateurs et unificateurs. Le statut d'une notion conditionne en effet, en partie, les mises en fonctionnement préalables à l'exposition des connaissances : ainsi, si le

nouveau concept est très éloigné des connaissances qu'il généralise, les élèves n'auront pas d'outil, même implicite, à mettre en oeuvre dans des exercices qui auraient lieu avant les cours sur la notion visée (Robert, 1998).

32. Ce dernier volet n'est pas encore beaucoup développé dans nos travaux, ce sont des recherches très récentes qui s'y attaquent.

ANNEXE

GRILLE D'ANALYSE DES SITUATIONS DANS LES TRANSCRIPTIONS DE SÉANCES EN CLASSE

Contexte mathématique (notion en cours d'étude)

Notion étudiée

Statut : formalisatrice, unificatrice, généralisatrice, extension, réponse à un problème

Niveau de conceptualisation

Cadres qui peuvent intervenir

Registres qui peuvent intervenir

Types de problèmes

Scénario

Place dans l'année, dans le cours

Description de la séance (cours, exercices, durées)

Nouveautés (notion, questions)

Exercices répétés, repris

Formes de travail

Exercice de recherche, «gamme», contrôle, justifications demandées

Modalités de travail de l'exercice : cherché avant, pendant, en petits groupes

Modalités de correction : par l'enseignant, par un élève, au tableau, noté

Tâches (énoncé précis) : analyses *a priori*

Place par rapport aux connaissances des élèves

Degré d'ouverture de l'énoncé, liaisons des questions, étapes

Degré de décontextualisation de l'énoncé (habillage, cas particulier, cas générique)

Mises en fonctionnement outil ou objet (indications)

Cadres, registres qui interviennent (indiqués, libres)

Raisonnements attendus (application directe, logique, absurde, récurrence, contre-exemple, analyse-synthèse), outils, méthodes (indiqués, libres)

Production attendue (graphique, formule, résultat numérique, oui/non, démonstration)

Activités attendues (*a priori*)

Niveau visé : technique, mobilisable, disponible
Pour entrer dans la tâche : conjecture, reconnaissance, interprétation, modélisation, dessin, calcul
Pour résoudre : application, adaptation, introduction d'intermédiaire (notation, point, formule, nom), transformation, choix, perte ou sélection d'informations, interprétation, mise en relation, analogie,
Initiatives à prendre
Moyens de contrôle internes
Implicites
Calculatrices utilisables

Activités (*a posteriori*)

Qui a fait quoi ? Qui justifie ?
Comment l'enseignant intervient ? Fermetures
Aides (individuelles, collectives)
Triches

Contrat

Corrections habituelles
Modes de questionnement habituels
Contrôles habituels (fréquences, difficultés, rapport avec le travail en classe, à la maison)

Attentes de l'enseignant

Objectifs de la séance
Difficultés supposées
Mises en garde prévues
Objet de l'apprentissage : outil, démarche, objet
Réviser, actualiser, réactualiser, introduire, familiariser, faire chercher

Analyses des questions

Qui est sollicité ?
Comment ?
Sur quoi (portée) ?
Exigences
Utilisation des réponses
Questions posées par les élèves

BIBLIOGRAPHIE

- BAUTIER E. & ROCHEX J.-Y. (1996). Rapport au savoir et à l'école des « nouveaux » lycéens. *L'année de la recherche en sciences de l'éducation*, pp. 185-212.
- BODIN A. (1997). L'évaluation du savoir mathématique, questions et méthodes. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 17, n° 1, pp. 49-96.
- BROUSSEAU G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 7, n° 2, pp. 33-115.
- BROUSSEAU G. (1995). L'enseignant dans les théories didactiques. In M.-J. Perrin-Glorian & R. Noïfalise (Éds), *Actes de la VIII^e école d'été de didactique des mathématiques*. Clermont-Ferrand, IREM de Clermont-Ferrand, pp. 3-46.
- CHEVALLARD Y. (1991). *Notes de travail pour la création de l'IUFM d'Aix-Marseille*. Marseille, IUFM de Marseille.
- CHEVALLARD Y. (1995). La fonction professorale : esquisse d'un modèle didactique. In M.-J. Perrin-Glorian & R. Noïfalise (Éds), *Actes de la VIII^e école d'été de didactique des mathématiques*. Clermont-Ferrand, IREM de Clermont-Ferrand, pp. 83-122.
- COMITI C., GRENIER D. & MARGOLINAS C. (1995). Niveaux de connaissances en jeu lors d'interactions en situations de classe et modélisation de phénomènes didactiques. In G. Arzac, J. Gréa, D. Grenier & A. Tiberghien (Éds), *Différents types de savoirs et leur articulation*. Grenoble, La Pensée sauvage, pp. 93-128.
- DAVISSE A. & ROCHEX J.-Y. (1995). *Pourvu qu'ils m'écoutent, discipline et autorité dans la classe*. Créteil, IUFM et CRDP de Créteil.
- DOUADY R. (1986). Jeux de cadre et dialectique outil/objet. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 11, n° 3, pp. 5-31.
- DOUADY R. (1994). Ingénierie didactique et évolution du rapport au savoir. *Repères-Irem*, n° 15, pp. 37-64.
- DUMAS-CARRÉ A. & WEIL-BARAISA. (1997). *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*. Bern, Peter Lang.
- FELOUZIS G. (1997). *L'efficacité des enseignants*. Paris, PUF.
- HACHE C. & ROBERT A. (1997a). Comment en didactique des mathématiques prendre en compte les pratiques effectives des enseignants de mathématiques au lycée ? *Cahier de Didirem*, n° 28.
- HACHE C. & ROBERT A. (1997b). Un essai d'analyse de pratiques effectives en classe de seconde, ou comment un enseignant fait fréquenter les mathématiques à ses élèves pendant la classe. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 17, n° 3, pp. 103-150.
- HUBERMANN M. (1992). De la recherche à la pratique : comment atteindre des retombées fortes. *Revue française de pédagogie*, n° 98, pp. 69-81.
- KRUMMHEUER G. (1988). Structures microsociologiques des situations d'enseignement en mathématiques. In C. Laborde (Éd.), *Actes du premier colloque franco-allemand en didactique des mathématiques*, pp. 41-51.
- PASTRÉ P., SAMURCAY R. & BOUTHIER D. (1995). Le développement des compétences, analyse du travail et didactique professionnelle. *Éducation permanente*, n° 123, pp. 7-12.
- PASTRÉ P. (1996). Variations sur le développement des adultes et leurs représentations. *Éducation permanente*, n° 119, pp. 33-63.
- PERRIN M.-J. (1997). Pratiques des élèves et des enseignants en classe de mathématiques — Institutionnalisation en classe de seconde. *Cahier de Didirem*, n° 29, pp. 19-63.

- ROBERT A. (1995). *Formation professionnelle initiale des futurs professeurs de mathématiques : les opinions des intéressés et de leurs tuteurs*. Versailles, Maïpen de Versailles.
- ROBERT A. (1996a). IUFM : réflexion sur la formation professionnelle initiale des professeurs de mathématiques de lycées et collèges. *Repères-Irem*, n° 23, pp. 83-108.
- ROBERT A. (1996b). Une approche de la formation professionnelle initiale des professeurs de mathématiques des lycées et des collèges. *Cahier de Didirem*, n° 26.
- ROBERT A. (1998). Outils d'analyse des contenus mathématiques à enseigner au lycée et à l'Université. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 18, n° 2, pp. 139-190.
- RODITI E. (1996). Le tableau noir : un outil pour l'enseignant de mathématiques. *Cahier de Didirem*, n° 31.
- VERGNAUD G. (1992). Qu'est-ce que la didactique ? En quoi peut-elle intéresser la formation d'adultes peu qualifiés ? *Éducation permanente*, n° 111, pp. 19-31.
- VERGNAUD G. (1994). Le rôle de l'enseignant à la lumière des concepts de schème et de champ conceptuel. In M. Artigue, R. Gras, C. Laborde & P. Tavnnot (Éds), *Vingt ans de didactique des mathématiques en France*. Grenoble, La Pensée sauvage, pp. 77-191.
- VERGNAUD G. (1995). Au fond de l'apprentissage la conceptualisation. In M.-J. Perrin-Glorian & R. Noirfalise (Éds), *Actes de la VIII^e école d'été de didactique des mathématiques*. Clermont-Ferrand, IREM de Clermont-Ferrand, pp. 174-185.
- VOIGT J. (1985). Patterns and routines in classroom interaction, Annexe : grille d'analyse des situations dans les transcriptions de séances en classe. *Recherches en didactique des mathématiques*, n° 6, pp. 69-118.
- VYGOTSKI L. (1985). *Pensée et Langage*. Paris, Messidor.

COMPTES RENDUS D'INNOVATIONS

REPORTS OF INNOVATION

Enseignement médiatisé des travaux pratiques de physique en DEUG : compte rendu d'innovation

The experimental activities of physics with multimedia systems in two-year university degree : report of innovation

Virginie ALBE

École Nationale de Formation Agronomique
BP 87
31326 Castanet-Tolosan, France.

Résumé

Nous présentons deux réalisations multimédia intégrées à l'enseignement de physique dans les DEUG (Diplôme d'Études Universitaires Générales) de sciences. Ces outils ont pour but de responsabiliser l'étudiant dans sa pratique expérimentale, favoriser son autonomie et concrétiser les notions théoriques du cours. Conçus dans cette perspective pédagogique, ces outils médiatisés permettent la rénovation des travaux pratiques. Nous montrons en effet comment l'utilisation de ces outils multimédias peut avoir, sur la formation, des effets multiples.

Mots clés : travaux pratiques, multimédia, vidéo, internet, enseignement sur mesure.

Abstract

We present two multimedia realisations for physical science education in two-year university degree. These tools have been made to make the students responsible in their experimental work, to favor their autonomy and to help the conceptual understanding of the physical phenomena. With these pedagogical goals, our approach allows to re-arrange the practical work in physics. We show that the use of these multimedia systems has multiple effects on teaching and learning.

Key words : *experimentation, multimedia, video, internet, personalised teaching.*

Resumen

En este artículo presentamos dos realizaciones multimedias utilizadas en la enseñanza de la física en el DEUG (Diploma de Estudios Universitarios Generales) de ciencias. Estas herramientas tienen por objetivos responsabilizar al estudiante en su práctica experimental, favorecer su autonomía y concretizar las nociones teóricas del curso. Concebidos desde esta perspectiva pedagógica, estas herramientas permiten la renovación de los trabajos prácticos. Se muestra como la utilización de estas herramientas multimedias pueden tener efectos múltiples sobre la formación.

Palabras claves : *trabajos prácticos, multimedia, video, internet, enseñanza.*

1. INTRODUCTION

L'évolution des besoins en formation dans l'enseignement supérieur est telle que l'on est conduit à imaginer des solutions nouvelles dans les domaines de la pédagogie, des comportements socioculturels et des modes de financement. Depuis quelques années, l'Université est amenée à développer sa participation à l'élaboration de documents multimédias répondant à des exigences pédagogiques (Dizambourg, 1997). L'introduction des technologies d'information et de communication dans l'enseignement conduit à réaménager les dispositifs pédagogiques. C'est l'occasion de réactualiser une formation en s'interrogeant non seulement sur son organisation mais aussi sur les objectifs qu'elle sert. Aménager un enseignement peut également être l'occasion d'améliorer son efficacité pédagogique. Dans ce contexte, nous avons conçu un programme d'enseignement modulaire multimédia pour les sciences physiques en DEUG (premier cycle universitaire) de sciences. Portant sur la nature ondulatoire de la lumière, le premier volet de cet enseignement modulaire concerne les phénomènes de diffraction et d'interférences. Un document vidéo et un serveur Web ont été réalisés. Le film intitulé « *Nature ondulatoire de la lumière : phénomènes de diffraction et d'interférences* », co-produit

par l'université Montpellier II et le CIES (Centre d'Initiation à l'Enseignement Supérieur) Languedoc-Roussillon présente une approche scientifique fondamentale et expérimentale. Il met en évidence la nature ondulatoire de la lumière par des expériences d'optique et des exemples courants issus de la vie quotidienne. À partir des observations, les phénomènes physiques sont commentés et expliqués à l'aide de schémas animés qui modélisent le trajet de la lumière. Le film pose également un certain nombre de questions auquel l'étudiant devra réfléchir. De plus, nous avons mis au point, en complément du document vidéo, un dispositif d'accompagnement sur internet accessible à des publics capables de les exploiter seuls (<http://w3.ges.univ-montp2.fr/~albe/module1.html>).

Notre programme est né du constat d'un certain nombre de besoins en travaux pratiques (TP) de deuxième année des premiers cycles universitaires. La pratique expérimentale est depuis longtemps considérée comme une activité importante dans l'apprentissage des sciences. L'objectif de l'expérimentation est de favoriser la compréhension des phénomènes physiques à partir de manipulations et d'observations. Cependant, les travaux pratiques de premier cycle universitaire ne réussissent pas à atteindre cet objectif pédagogique (Vallée et al., 1990 ; Trincaz & Millet, 1990 ; Bornarel, 1991). Parmi les problèmes cités comme responsables de la dégradation des TP, deux raisons souvent invoquées attirent tout particulièrement l'attention : le comportement des étudiants et l'absence de coordination entre les contenus du cours et les programmes de TP. La plupart des étudiants voient en effet les TP comme un ensemble de recettes à appliquer. Ils collectent des informations sans saisir le sens de leurs actions, effectuent leur « devoir » dans une atmosphère dilettante et passent une grande partie de leur temps à faire autre chose que le TP et notamment à bavarder (Tamir, 1989 ; Tobin, 1990). De plus les étudiants ne font pas le lien entre la théorie, étudiée en cours, et l'expérience, gênés par la complexité des dispositifs expérimentaux. Pour remédier à ce comportement, nos objectifs pédagogiques sont de concrétiser les notions théoriques, favoriser l'autonomie et responsabiliser l'étudiant dans sa pratique expérimentale. Nous avons conçu deux réalisations multimédias intégrées à l'enseignement. La qualité d'un support pédagogique ne se définit pas en soi, mais par sa pertinence par rapport à une situation et à une démarche de formation. L'approche que nous avons développée consiste à définir d'abord une stratégie pédagogique ajustée aux objectifs pédagogiques et aux besoins et contraintes particulières du public visé ; le choix et la définition des supports sont subordonnés à cette démarche.

2. DES OUTILS POUR UN ENSEIGNEMENT MÉDIATISÉ

L'audiovisuel nous est apparu comme le média le plus adapté à l'enseignement des travaux pratiques. Grâce à une grande facilité d'utilisation, et compte tenu des contraintes en matériel, la vidéo est, à moindre coût, un support pédagogique idéal pour de multiples usages : diffusion en amphithéâtre à un public nombreux, à de petits groupes d'étudiants en travaux dirigés (TD) et TP, utilisation individuelle en auto-formation.

La démarche que nous avons adoptée consiste à découper le programme en modules pour proposer des outils aux étudiants. D'une durée de 12 minutes, le film met en évidence la nature ondulatoire de la lumière par des expériences d'optique et des exemples courants issus de la vie quotidienne. Par exemple, la réalisation du montage optique de la diffraction par une fente est présentée de manière complète et détaillée. Un soin particulier a été apporté à la présentation des différents réglages : disposition des lentilles, alignement du faisceau lumineux, ouverture de la fente diffractante, mise au point du viseur micrométrique, etc. Les phénomènes observés sont commentés et la mesure des franges de diffraction est explicitée. Dans le même esprit, à partir de l'observation d'irisations sur un disque compact, le rôle des interférences lumineuses dans des phénomènes quotidiens est présenté.

En complément du film, un dispositif d'accompagnement a été mis en place sur internet. Ce serveur propose des cours et des exercices interactifs. Les questions permettent aux étudiants de vérifier leur compréhension des concepts qui interviennent dans une situation spécifique. Après plusieurs essais de réponses, des indices sont fournis aux étudiants qui le désirent, de façon à guider ou réorienter la réflexion. Enfin, les réponses à ces questions sont disponibles après plusieurs tentatives de réponses n'ayant pas abouti à la solution. Les solutions fournies sont complètes et détaillées avec explication des résultats et discussion des réponses et erreurs le plus souvent commises.

Les modalités d'utilisation de ces outils multimédias sont multiples. Le document vidéo et l'accès au serveur sont intégrés à l'enseignement traditionnel.

En enseignement présentiel, la diffusion du document vidéo en cours et en travaux dirigés permet d'illustrer les notions théoriques pour améliorer les performances et favoriser la compréhension de notions abstraites. Un point particulier de la théorie peut en effet être illustré par un

extrait du document. Les phénomènes physiques sont ainsi concrétisés par la présentation d'une expérience d'optique élémentaire ou d'exemples courants issus de la vie quotidienne.

En travaux pratiques, la diffusion du film en début de séance, avant la pratique expérimentale, permet de familiariser les étudiants avec les dispositifs expérimentaux et par conséquent de limiter les comportements irréfléchis et les mesures infondées (Séré et al., 1993 ; Larcher et al., 1994).

Pour l'auto-formation, le film et le serveur peuvent être mis à disposition des étudiants en libre service à la bibliothèque universitaire et dans la salle de travaux pratiques.

Ces outils sont également utilisés pour l'enseignement à distance. Le film a été diffusé à la télévision sur la Cinquième chaîne dans le cadre de l'émission « Les Amphis de la Cinquième » le 26 mai et le 9 juin 1997. Il est consultable à la bibliothèque nationale de France depuis septembre 97 et va être diffusé sur RFO et sur TV5 dans le cadre de l'émission « Université de nuit ». Il s'agit d'une diffusion mondiale à destination des publics francophones sous la tutelle de l'Agence Francophone pour l'Enseignement Supérieur et la Recherche : l'AUPELF-UREF (Association des Universités Partiellement ou Entièrement de Langue Française-Université des Réseaux d'Expression Française).

3. DES EFFETS MULTIPLES SUR LA FORMATION

Le film a été sélectionné pour être présenté au Festival du Film de Chercheur du CNRS en mars 97 à Nancy et au Festival International du Film Scientifique de Palaiseau en novembre 97. Le serveur suscite en moyenne, depuis le mois de septembre 97, une vingtaine de connexions par jour.

Par ailleurs, l'intégration du document vidéo à l'enseignement nous a permis d'évaluer l'intérêt de sa diffusion. La démarche que nous avons adoptée consiste à diffuser le film en travaux pratiques avant la séquence d'enseignement traditionnel. Cinq enseignants ont pris part à cette expérience et nous avons diffusé le document aux étudiants de troisième semestre des DEUG A (mathématiques et sciences physiques) et B (biologie et sciences physiques), soit 168 personnes. Précisons que l'audiovisuel présente une grande facilité d'utilisation et nécessite un matériel peu coûteux. La présence d'un téléviseur et d'un magnétoscope dans la salle de travaux pratiques permet une grande souplesse d'utilisation du document, mais en l'absence de ce matériel sur place, le document est utilisable dans toute salle équipée du matériel audiovisuel standard, le support vidéo VHS étant le plus répandu.

L'expérience montre que cette utilisation des technologies d'information et de communication a été l'occasion de modifier des situations pédagogiques. Une formation médiatisée permet, par exemple, de faire varier le rythme du travail et de l'ajuster selon les possibilités et difficultés de chacun. De plus, la technique rend possible de nouvelles formes d'encadrement (Weil-Barais, 1994) qui, d'une part, suscitent davantage d'initiative et d'autonomie des étudiants dans leur travail d'apprentissage et, d'autre part, facilitent une attention et une écoute plus individualisées des difficultés qu'ils rencontrent. Il apparaît plus facile aux étudiants de s'adresser à un enseignant pour demander des explications ou exprimer une incompréhension au sujet d'un document (film ou serveur) plutôt qu'à propos du cours ou des TD faits par l'enseignant. Ce dernier n'est plus en effet seul détenteur du savoir, mais le savoir existe ailleurs, concrétisé par les documents multimédias. L'indépendance de ces outils vis à vis de l'enseignant instaure ainsi une relation pédagogique à trois éléments qui favorise les échanges entre étudiants et enseignants et améliore la communication. Il est en effet apparu qu'après la diffusion du document et au cours de la séance de travaux pratiques qui a suivi, les étudiants ont posé beaucoup plus de questions qu'à l'ordinaire. Les enseignants ont été très sollicités et ont du faire preuve d'une grande disponibilité. Ceux-ci ont fait remarquer qu'au lieu des habituelles questions sur la manipulation des appareils et la complexité des dispositifs expérimentaux, de nombreuses questions portaient sur les phénomènes physiques observés et la théorie étudiée.

Ces outils sollicitent en outre l'esprit critique du public concerné. Les étudiants sont invités à donner leur avis en rédigeant des commentaires anonymes sur ces séances de travaux pratiques médiatisés. Leur participation est plus active et leur motivation accrue. Les réactions recueillies montrent l'intérêt de tels documents. Parmi les témoignages d'étudiants de troisième semestre de DEUG A, un grand nombre souligne l'aide apportée par le document à la compréhension des phénomènes physiques.

« Intéressant, très favorable à la bonne compréhension de l'optique. »

« C'est une bonne idée. Il me semble que cela peut nous aider, nous forcer à réfléchir plutôt que de toujours gober et accepter les cours sans rien dire. Cela nous fait participer. »

« Instructif, concret. »

« Bon document utile à la compréhension de la physique. »

« Ça permet d'illustrer le cours, de mieux le comprendre (la théorie devient moins théorique). »

Les étudiants de troisième semestre de DEUG B ont également témoigné de leur intérêt pour cette expérience.

« Document clair et intéressant, explique bien la relation entre l'optique physique et géométrique et explique bien les interférences et le phénomène de diffraction. »

« J'ai déjà fait ce TP et j'avoue que le film aide à comprendre le phénomène de diffraction. »

« Explications et schémas très intéressants et très clairs. »

« Très bon film. Représentation très agréable des franges de diffraction, très bon complément du cours, TD et surtout TP. »

« Beaucoup plus vivant que le cours (illustrations, manipulations...) »

« Ce film illustre bien le cours et permet de faire tous les liens entre cours, TP et TD. Il donne des exemples des phénomènes étudiés, dans la vie courante. Il permet aussi d'observer des figures que je n'avais pas très bien réussi à former en TP. À quand le prochain ? »

Enfin, des étudiants des DEUG A et B ont exprimé leur désir de voir cette expérience étendue à l'ensemble du programme des travaux pratiques.

« Continuer dans cette optique. Permet d'avoir une vision très concrète des phénomènes. »

« Un film pour chaque TP. »

« Type d'initiative très motivante, intéressante et à utiliser et développer. À étendre sur l'ensemble des TP et du cours. »

« Des documents de ce genre sur diverses parties du cours seraient bénéfiques à la compréhension des phénomènes d'optique. Ainsi que des films sur les TP que l'on visionnerait après les avoir faits, nous aideraient à mieux comprendre et à vérifier que notre travail a été bien effectué et éclaircir les points sombres. »

« Expérience à renouveler avant chaque TP. »

L'internet peut aussi servir à dynamiser les pratiques pédagogiques. En effet, l'interactivité des supports informatiques modifie le rapport à l'information et implique de nouvelles formes d'écriture et de lecture. Les hypertextes permettent des formes de lecture non linéaires où l'accès à l'information s'effectue selon des cheminements individualisés. Ces changements présentent l'intérêt pédagogique d'offrir, à distance, une formation adaptée au rythme et aux difficultés de chaque utilisateur. Constitué de cours et de questions et exercices interactifs, le serveur permet aux étudiants de compléter et d'évaluer leurs connaissances.

L'utilisation des nouvelles technologies nous permet alors, conformément à nos objectifs pédagogiques, de redonner une place importante au travail individuel. Les réactions recueillies montrent que les étudiants jugent l'expérience très motivante et souhaitent une extension de ces réalisations à l'ensemble des travaux pratiques.

4. CONCLUSION

Nous avons présenté deux outils multimédias, un document vidéo et un serveur Internet intégrés à l'enseignement de physique en DEUG de sciences. Portant sur la nature ondulatoire de la lumière, le premier volet de cet enseignement modulaire concerne les phénomènes de diffraction et d'interférences. L'utilisation du document vidéo et du serveur dans l'enseignement a permis de réorganiser la formation en travaux pratiques, de mieux gérer le temps et de changer la place de l'enseignant. Cette première étape de notre démarche participe à la rénovation des travaux pratiques. Les bons échos reçus montrent que l'expérience est considérée comme très motivante et les étudiants sollicitent une extension des systèmes multimédias à l'ensemble du programme de sciences physiques.

BIBLIOGRAPHIE

- BORNAREL J. (1991). L'enseignement de la physique en premier cycle universitaire. *Bulletin de la Société Française de Physique*, supplément au n° 81.
- DIZAMBOURG B. (1997). L'enseignement supérieur et le développement des technologies d'information et de communication. *Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale*, n° 18, pp. 1287-1291.
- LARCHER C., SÉRÉ M.-G. & JOURNEAUX R. (1994). Difficultés lors du mesurage chez des étudiants de première année d'Université. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 12, n° 2, pp. 217-225.
- SÉRÉ M.-G., LARCHER C. & JOURNEAUX R. (1993). Learning the statistical analysis of measurement errors. *International Journal of Science Education*, vol. 15, n° 4, pp. 427-438.
- TAMIR P. (1989). Training teachers to teach effectively in the laboratory. *Science Education*, vol. 73, n° 1, pp. 59-69.
- TOBIN K.G. (1990). Research on Science laboratory activities : in pursuit of better questions and answers to improve learning. *School Science and Mathematics*, vol. 90, n° 5, pp. 403-418.
- TRINCAZ J. & MILLET J. (1990). *Adaptation des étudiants de 1^{ère} année de DEUG A, leurs méthodes de travail et leurs projets professionnels*. Grenoble, Médecine préventive de Grenoble.
- VALLÉE O., RANSON R. & BRAULT P. (1990). *Enquête auprès des étudiants de l'année de DEUG A, licence et maîtrise de physique d'Orléans*. Orléans, SFP-Centre.
- WEIL-BARAIS A. (1994). *Étude de l'impact de l'utilisation d'outils informatiques par les élèves en sciences physiques*. Paris, Université Paris 7, LIREST.



Contrôle des activités dans l'usage d'un hypermédia en autonomie : compte rendu d'innovation

Work control during autonomous use of a hypermedia : report of innovation

Patrice VENTURINI

LEMME, Bâtiment 3R2
Université Paul Sabatier
118 route de Narbonne
31062 Toulouse cedex.

Résumé

En réalisant un hypermédia destiné à la révision en autonomie du programme d'électricité de la classe de seconde, nous avons confié aux élèves la responsabilité du contrôle de la navigation au sein du produit, tout en leur fournissant des aides pour mener à bien cette tâche. Dans cet article, nous présentons les raisons de ce choix, le dispositif d'aide correspondant, ainsi que les résultats obtenus lors de l'expérimentation du produit. Ceux-ci font apparaître les difficultés des élèves à réaliser un contrôle bien adapté à leurs besoins, malgré des conditions favorables liées au type d'activité. Une médiation humaine semble nécessaire, tant pour réguler l'activité de révision que pour construire les compétences nécessaires à l'usage ultérieur en autonomie de produits de formation.

Mots clés : hypermédiat, autonomie, médiation, électricité, révision.

Abstract

By designing a hypermedia to help fifth formers to revise autonomously the part of the physics syllabus dedicated to electricity, we wished to give each pupil control over his own navigation and provide him with the necessary help to complete his task. In this article, we intend to describe the reasons for our choice, the help we devised and the results we got. The latter clearly show that, although this type of activity provided them with good working conditions, the pupils found it difficult to exert a control well adapted to their own needs. It seems a human presence can't be dispensed with, both to control the pupils' revising activity and to help them acquire the competences they'll need for a further autonomous use of teaching software.

Key words : hypermedias, autonomy, mediation, electricity, revision.

Resumen

Realizando un hypermedia destinado a la revisión en autonomía del programa de electricidad de la clase de segundo (liceo francés), confiamos al alumno la responsabilidad del control de navegación para la obtención del producto, suministrándole ayudas para llevar a cabo de la mejor manera la tarea. En este artículo, presentamos las razones de esta selección, el dispositivo de ayuda correspondiente, los resultados obtenidos en el momento de la experimentación del producto, así como su análisis. Esto hace aparecer las dificultades de los alumnos en realizar un control bien adaptado a sus necesidades, a pesar de las condiciones favorables ligadas al tipo de actividad. Una mediación humana se hace necesaria, tanto para regular la actividad de revisión como para construir las competencias necesarias al uso posterior en autonomía de productos de formación.

Palabras claves : hypermedia, autónomo, mediación, electricidad, revisión.

1. CONTEXTE DE TRAVAIL

Le contexte des actions de formation initiale ou continue a beaucoup évolué ces dernières années ; la centration sur l'apprenant, entraînant une différenciation de la pédagogie (Meirieu, 1990), et l'explosion des besoins conduisant de plus en plus les apprenants à travailler en autonomie, y ont beaucoup contribué. Les technologies de l'information et de la communication, notamment les hypermédias, y sont utilisées chaque jour davantage. Ces logiciels permettent d'appréhender, suivant différents cheminements, un même ensemble d'informations véhiculées par plusieurs médias, ce qui explique leur utilisation dans une démarche de formation impliquant une individualisation des parcours.

Pour examiner l'intérêt de ce type de produits, nous avons conçu

REV.E.S., un hypermédia destiné à la REVISION du cours d'Electricité de la classe de Seconde. L'activité de révision a été choisie parce que l'élève y travaille de manière autonome et individualisée ; l'électricité parce que ce domaine est didactiquement bien balisé ; le niveau de seconde parce que les classes y sont indifférenciées. Nous avons évalué l'usage de ce produit avec les élèves. Notre travail, qui constitue une expérimentation basée sur « *la conception, la réalisation, l'observation et l'analyse de séquences d'enseignement* » s'inscrit donc dans une démarche relevant de l'ingénierie didactique (Artigue, 1990).

2. CONTRÔLE DES ACTIVITÉS ASSISTÉES PAR ORDINATEUR

Un apprenant, lorsqu'il travaille avec un logiciel, doit gérer simultanément trois tâches (Linard, 1997) : la navigation dans l'interface du logiciel, la maîtrise des contenus et le pilotage de son activité cognitive. L'importance de cette dernière activité varie suivant le rôle que l'on attribue à l'ordinateur dans les processus d'apprentissage de l'élève.

L'ordinateur a d'abord été considéré comme un « *tuteur* » pouvant se substituer à l'enseignant. L'introduction des techniques de l'intelligence artificielle dans les premiers produits d'enseignement assisté par ordinateur a permis de les faire évoluer vers des systèmes de « *tuteurs intelligents* », qui devraient, en principe, suivre l'utilisateur pas à pas pour identifier ses difficultés et lui proposer les activités les plus adaptées. Baron & Bruillard (1996, p. 201) font toutefois remarquer que la difficulté est grande « *d'introduire des connaissances pédagogiques dans un logiciel* ». Linard (1996, p. 130) évoque le « *modèle-élève introuvable, ... au mieux partiel et approximatif, au pire carrément caricatural* ». Confier totalement le contrôle du travail de l'élève à une machine n'est donc pas sans poser des problèmes et la question de sa possibilité même reste ouverte.

En s'écartant de l'idée d'un ordinateur tuteur, un second courant de pensée a conduit à la mise au point d'environnements ouverts et interactifs pour lesquels la machine permet d'explorer un monde virtuel : les élèves expriment leurs idées (leurs hypothèses sur les objets de l'environnement et sur leur comportement) et en expérimentent les conséquences (rétroaction de la machine). C'est donc par cette expérimentation, et en contrôlant lui-même l'ensemble du processus que l'apprenant construit son propre savoir. Linard (1996, p. 120) évoque à propos de cette approche le « *mythe de l'auto-genèse cognitive* ». En effet, en disposant du contrôle total de son apprentissage, l'apprenant risque fort de rester confiné, au plan cognitif, dans « *les limites de sa pensée naturelle spontanée* ».

Un troisième mode d'usage de l'ordinateur est apparu au début des années 1980, dans lequel des logiciels (de bureautique, d'EXAO, etc.), qui n'ont pas en soi de vocation éducative transforment la machine en « *instrument de travail intellectuel et de production* » (Baron & Bruillard, 1996, p. 196). Les hypermédias qui sont des outils de gestion de l'information, relèvent de ce dernier champ. Les parcours en leur sein peuvent, à l'extrême, être contraints par la machine ou laissés à l'initiative de l'utilisateur. On retrouve ici les deux approches précédentes, aussi antagonistes que complémentaires. C'est probablement la perception de cette complémentarité qui amène Depover et al. à proposer, pour les hypermédias, une situation de compromis entre les partisans d'un ordinateur « tuteur » exerçant un contrôle strict sur l'apprenant, et ceux d'un ordinateur « partenaire », convaincus qu'il est important de confier à cet apprenant un contrôle étendu sur les contenus et les démarches d'apprentissage : « *cette voie médiane consiste à proposer à l'apprenant certaines latitudes de contrôle tout en lui fournissant des conseils et des suggestions susceptibles de l'aider dans ses décisions* » (Depover et al., 1993, p. 54).

3. HYPOTHÈSE DE TRAVAIL

Nous avons retenu comme hypothèse de travail lors de la conception de REV.E.S. la possibilité, dans une perspective constructiviste, de confier aux élèves les choix navigationnels au sein de l'hypermédia, tout en leur fournissant une aide.

Cette hypothèse nous paraît justifiée dans le cadre d'une activité de révision. En effet, selon Depover (op.cit.), l'efficacité du contrôle exercé par un apprenant est fonction de certaines caractéristiques individuelles (âge, niveau de connaissances par rapport au domaine) mais aussi du niveau et de la complexité des contenus, de leur caractère plus ou moins familier, de la progression dans le cours. En choisissant de travailler sur des activités de révision, nous prenons en compte certains de ces facteurs. Par exemple, le contenu de REV.E.S. est déjà en partie connu des élèves ; il a déjà été abordé non seulement, en cours de seconde, mais aussi dans les classes précédentes de quatrième et de troisième. Il s'agit d'un cours contenant les premiers éléments d'électrocinétique, donc présentant une complexité faible. Le contrôle des activités « classiques » de révision est laissé à la discrétion de l'élève aussi bien quant à son organisation qu'à son contenu. Le travail proposé dans REV.E.S. est, sous cet angle, en continuité avec les habitudes des élèves.

D'autres hypothèses, liées notamment à la maîtrise de l'interface et aux aspects cognitifs, ne sont pas évoquées dans le cadre de cet article,

même si elles conditionnent en partie la conception du produit et le dispositif expérimental utilisé. On pourra consulter Venturini & Viel (1997) pour un résumé du travail mené ou Venturini (1997) pour plus de détails.

4. AIDES AU CONTRÔLE DU TRAVAIL DANS REV.E.S.

Selon Linard (1996), l'apprenant peut, dans le déroulement d'un apprentissage assisté par ordinateur, contrôler le contenu de son travail (leçons, parties de leçon, etc.), le type de présentation (facile, difficile, par règles, exemples, graphiques, etc.), le type d'activité cognitive (répétition, révision, explication, exercice, etc.), et le type d'activité méta-cognitive (demande d'aide au raisonnement, demande de conseil, de rappel de parcours ou d'objectifs, etc.) Nous avons, pour notre part, proposé dans REV.E.S le contrôle du type d'activité cognitive et du type de contenu.

Les informations présentes dans REV.E.S. sont structurées à la fois de manière arborescente et en réseau. L'arborescence se compose de trois niveaux seulement. Au premier niveau, les élèves ont le choix entre quatre types d'informations qui induisent quatre type d'activités. Les informations de type « Connaissances » sont relatives aux savoirs essentiels du programme de seconde. Les informations de type « Méthodes » portent sur la formalisation des savoir-faire liés à l'application des lois, aux calculs et aux mesures des grandeurs électriques. Les informations de type « Documents » apportent des compléments aux connaissances et aux méthodes. Les informations de type « Tests » proposent un auto-contrôle à caractère formatif portant sur les connaissances et les méthodes. Ce découpage, en partie présent dans les manuels ou les cours est familier aux élèves. Des liens « réseau » facilitent le passage entre les différents types d'activités relatifs à un même domaine notionnel. Le deuxième niveau de l'arborescence récapitule l'ensemble des items du programme dans chaque catégorie d'informations (le troisième correspond à l'information elle-même).

Ainsi, le menu « Connaissances » propose la liste de toutes les notions qu'un élève est censé acquérir à la fin du cours, et le menu « Méthodes » présente la liste de toutes les méthodes qu'il est censé maîtriser. En même temps qu'ils facilitent la représentation du contenu et de l'organisation de la base, ces deux menus constituent, en quelque sorte, une carte des objectifs notionnels et méthodologiques à atteindre à la fin du programme. Leur lecture permet à l'élève d'une part d'avoir connaissance de l'ensemble des possibles, et d'autre part d'opérer un choix en fonction de l'analyse qu'il fait *a priori* de ses manques, ou en fonction de celle qu'il fait après usage des tests intégrés à REV.E.S.

En effet, des tests correspondant à chaque objectif – donc à chaque item des menus « Connaissances » et « Méthodes » – permettent à l'utilisateur une première évaluation de ses connaissances. La rétroaction fournie par la machine après chaque réponse se compose d'une composante de vérification (généralement sonore) et d'une composante explicative, basée sur la supposition que l'apprenant peut comprendre ses erreurs et les corriger. En comparant la réponse qu'il propose à celle qu'il obtient du système, l'apprenant peut ou non décider de « visiter » l'information correspondante. La mise en œuvre de cette décision est facilitée par l'existence d'une liaison directe (lien réseau) entre chaque page « Connaissances » ou « Méthodes » et la page « Tests » correspondante.

Nous avons donc fourni, dans le produit, des informations permettant à l'élève de mieux se représenter à la fois les connaissances à acquérir (identifiables notamment dans les menus), et leur degré d'acquisition (perceptible en comparant les réponses qu'il fournit dans la partie « Tests » avec celles proposées par la machine). Ces éléments doivent lui permettre d'en déduire la tâche à effectuer et déterminent ses choix navigationnels. La structuration de la base et des repères classiques de navigation indiquant à l'élève où il est dans la base, d'où il vient et où il peut aller, facilitent ensuite l'opérationnalisation des choix effectués. L'ensemble « aide aux choix - structuration de la base et repères de navigation » constitue une aide permettant à l'apprenant de contrôler son travail au sein de REV.E.S.

5. CONDITIONS D'EXPÉRIMENTATION ET CRITÈRES D'ÉVALUATION RETENUS

L'expérimentation a été effectuée avec deux classes de seconde dont le niveau était faible. Les élèves ont travaillé de 3 à 5 heures avec REV.E.S., pendant les heures de travaux pratiques, à la fin de leur cours d'électricité. Ils avaient pour seule consigne de réviser l'ensemble de ce cours en vue de préparer un contrôle récapitulatif, et disposaient pour ce faire de la totalité de leurs documents personnels. Nous avons évalué les connaissances préalables des élèves et déduit leurs besoins de consultation, à partir d'un questionnaire distribué avant l'usage de REV.E.S., après que chaque chapitre du cours ait été terminé par le professeur. Ce questionnaire portait sur des domaines du programme choisis en raison des difficultés apparues dans deux autres classes de seconde lors d'une pré-expérimentation effectuée l'année précédente. L'activité des élèves sur REV.E.S. a été enregistrée par la machine (type d'activité, nature de l'information et temps de consultation par page).

À partir des informations obtenues, nous avons examiné l'adéquation entre les besoins des élèves, révélés par les résultats du questionnaire distribué, et la nature de l'information consultée. Pour cela, nous avons défini, pour chacun des domaines du questionnaire, une variable représentant le taux de réponses exactes avant l'usage de REV.E.S. Nous avons décidé qu'un élève avait besoin de revoir les informations relatives à un domaine donné lorsqu'il avait fourni moins de la moitié des réponses exactes au questionnaire sur le domaine concerné. Nous avons défini pour chacun des domaines une variable représentant le taux de pages vues, calculé sur le nombre de pages d'information relatives à chacun des domaines. Par « pages vues », il faut entendre les pages pour lesquelles le temps de consultation était supérieur à un temps minimum en deçà duquel nous avons estimé que l'activité menée par l'élève ne pouvait pas être significative. Nous avons décidé qu'un domaine était effectivement consulté par un élève lorsque celui-ci avait vu plus de la moitié des pages de ce domaine.

Nous avons aussi examiné les types d'activités menées par chaque élève (connaissances, tests, etc.) et nous avons croisé les résultats obtenus avec une variable « Niveau » permettant de répartir l'effectif en deux groupes d'élèves : « supérieurs » ou « inférieurs » à la moyenne obtenue en physique.

6. RÉSULTATS OBTENUS

À partir du questionnaire, nous avons déterminé les élèves qui auraient dû réaliser la consultation de chacun des domaines, puis nous avons ensuite calculé, sur ces populations, le pourcentage d'élèves ayant effectivement réalisé cette consultation. Les résultats obtenus varient suivant le domaine concerné de 6 % à 57 %, le pourcentage moyen d'élèves « ayant réalisé une consultation adaptée à leurs besoins dans un domaine donné » se situant à 40 %.

Par ailleurs, en examinant le type de pages consultées sur l'ensemble du produit (et donc des types d'activités réalisées), on constate qu'en moyenne, un élève a vu 42 % des pages « Tests », 37 % des pages « Connaissances », 25 % des pages « Méthodes » et 17 % des pages « Documents ». Ces deux dernières valeurs sont nettement inférieures à 34 %, valeur moyenne du nombre de pages de REV.E.S. consulté par chaque élève dans les conditions expérimentales proposées. Les mêmes valeurs moyennes établies sur les deux populations d'élèves déterminées par la variable « Niveau » traduisent une identité de comportement entre ces deux populations.

7. COMMENTAIRES DES RÉSULTATS OBTENUS

Remarquons tout d'abord que les valeurs numériques relatées dans les paragraphes précédents sont fonction des conditions expérimentales mises en place et que la taille de l'échantillon est réduite. Les résultats obtenus ne pourront donc être généralisés en l'état, au moins pour ce qui concerne l'aspect quantitatif, lié notamment au temps de travail attribué aux élèves et au profil particulier des classes utilisées.

7.1. Aspects méthodologiques

Nous avons montré dans les analyses précédentes qu'en moyenne, sur un domaine donné, 40 % des élèves réalisent une consultation adaptée à leurs besoins. Cette valeur semble faible compte tenu des circonstances favorables à une activité en autonomie, parce que relatives à un travail de révision. On peut tout d'abord remarquer que ce résultat peut être lié, en partie, à trois éléments de la méthodologie mise en œuvre.

Le premier concerne les critères retenus : 50 % minimum des pages d'un domaine doivent être consultées pour que le domaine soit considéré comme vu. Chaque domaine comporte non seulement des pages de type « Tests » et « Connaissances », mais aussi des pages de type « Méthodes » et « Documents ». Ces dernières ayant été presque systématiquement « oubliées », la consultation de chacun des domaines est souvent partielle et donc non prise en compte avec nos critères.

Le deuxième, probablement moins influent, concerne la dépendance relative de certains des domaines examinés. Il ne paraît pas incongru, en effet, que quelqu'un ayant identifié des besoins relatifs aux propriétés de l'intensité dans un circuit série consulte tout d'abord une page d'information relative à la nature du courant ou à la lecture de schémas. Cette activité, qui peut être perçue comme un contrôle adapté, n'est pas prise en compte dans notre étude, au sein de laquelle la nature du courant, la lecture de schémas et la propriété de l'intensité dans un circuit en série sont considérées comme des domaines indépendants.

Le troisième élément est relatif à la variable représentant le taux de pages vues par chaque élève. En établissant ce taux, nous avons considéré implicitement que les pages d'information étaient équivalentes du point de vue de la quantité d'informations proposée, de leur nature et de la difficulté d'appréhension qu'elles recèlent. Ce choix ne traduit pas la part prépondérante que peut prendre un item (une page) dans l'élaboration des savoirs relatifs à un domaine donné. L'élève qui a reconnu l'importance de

cet item peut considérer, après l'avoir consulté, qu'il a travaillé sur l'essentiel du domaine. S'il passe à un autre sujet, sa démarche, qui peut être adaptée, n'est pas prise en compte dans notre analyse. Cependant, la granularité relativement fine du découpage de l'information limite ce travers.

7.2. Influence du contrat didactique

Le contrat didactique distribue des rôles différents dans le traitement d'un objet de savoir, pour lequel, selon Joshua & Dupin (1993, p. 255) citant Chevallard, il y a « *ce que le maître enseigne et la manière dont il doit l'enseigner, et ce que l'élève doit savoir et comment il doit le savoir* ». L'évaluation précise les aspects de l'objet d'enseignement traité qui sont de la responsabilité de l'élève. En effet, elle « *confirme, dans le cadre d'un contrat éventuellement spécifique à une classe, ce qui peut être considéré comme important et ce qui est secondaire, ce qu'il est décisif de savoir faire et ce qui est accessoire* » (Joshua & Dupin, op. cit., p. 256).

Certaines des observations effectuées lors de l'expérimentation semblent montrer l'influence, sur les activités réalisées, des contrats didactiques en cours dans les classes. Semblables sur de nombreux points, ceux-ci « contraignent » la consultation de certains types d'information et contribuent à la mise à l'écart de certains autres. Dans ces classes, les méthodes sont rarement aussi formalisées que dans REV.E.S. Les documents, quelle qu'en soit la nature, ne donnent lieu à aucun travail spécifique, et surtout ni méthodes ni études de documents ne font habituellement l'objet d'une évaluation. On comprend alors que les élèves n'aient pas privilégié la lecture des pages de REV.E.S. offrant ces deux types d'activité, entraînant par là une consultation partielle des domaines notionnels. Le comportement identique de l'ensemble des élèves par rapport à cette observation, quel que soit leur niveau, ainsi que leur comportement similaire dans certains des domaines étudiés (peu de consultation de contenus non évalués habituellement par les enseignants, consultation plus importante d'éléments récemment évalués) renforcent cette hypothèse.

Il est de toute manière « naturel » que les élèves prennent appui sur le contrat didactique pour choisir leurs activités, puisque celui-ci conditionne l'évaluation dont ils seront l'objet. Cette remarque induit une piste de réflexion à la fois pour l'enseignant et pour le concepteur d'un produit. Le premier doit identifier les moyens de rendre compatibles les contrats en cours dans son enseignement et ceux qui sont autorisés par le logiciel proposé aux élèves. Le second doit incorporer dans le produit la souplesse nécessaire pour que celui-ci puisse s'intégrer dans les usages en cours dans une classe.

7.3. Une aide insuffisante pour pallier l'absence de certaines compétences

L'aide fournie au sein du logiciel lui-même constitue le deuxième point de repère pour le choix des activités. Aux dires des élèves, 54 % d'entre eux ont utilisé les tests comme indicateurs de la nécessité de réviser ou non une page d'informations. Nous avons par ailleurs constaté que la navigation n'a pas posé de problèmes particuliers d'un point de vue technique, les éléments fournis pour le repérage au sein de la base se révélant satisfaisants (95 % des élèves estiment ne s'être jamais perdus ou rarement en cherchant l'information ; ces affirmations sont confirmées par l'analyse des parcours). Cependant si certains des éléments mis en place dans le logiciel semblent avoir fonctionné, le type d'aide intégrée au produit s'est révélé insuffisant pour pallier l'absence de certaines compétences, notamment celles nécessaires au travail en autonomie.

Une première observation montre que ce sont les meilleurs élèves (17 % de la population) qui ont réalisé un contrôle totalement adapté à leurs besoins sur l'ensemble des domaines expérimentés. On peut supposer que le recul qu'ils commencent à avoir par rapport à la discipline leur permet de mieux situer leurs activités. Le niveau général des élèves de l'échantillon, plutôt faible, peut expliquer en partie le pourcentage relativement bas des élèves ayant réalisé un contrôle adapté à leurs besoins.

Par ailleurs, nous avons constaté qu'aucun des élèves n'a cherché à établir des relations entre le travail effectué dans REV.E.S. et les exercices ou devoirs réalisés en classe, à leur disposition pendant l'activité et qui auraient pu les aider à identifier leurs manques. Aucun n'a fait appel aux enseignants présents pour planifier les activités, ou conduit de lui-même cette réflexion après la phase d'exploration. Il semble qu'il y ait là une carence importante dans l'organisation du travail, carence qui a probablement nui à la qualité du contrôle exercé.

7.4. Une nécessaire médiation humaine

Ces constatations nous amènent à penser que l'intervention de l'enseignant dans le processus de révision est nécessaire, faute de savoir, à l'heure actuelle, intégrer à un logiciel de manière satisfaisante les stratégies correspondantes. Mais cette intervention, pour être profitable, doit, selon Linard, beaucoup plus relever de la médiation que de l'imposition, « *de l'interaction réciproque que de l'action de l'enseignant sur l'apprenant* » (Linard, 1995, p. 58).

Cette médiation serait d'abord destinée à réguler, dans le quotidien, l'activité de révision pour la rendre plus efficace. Mais elle devrait aussi servir parallèlement à construire progressivement les compétences nécessaires pour mieux utiliser à l'avenir des produits de formation de ce type : recul critique par rapport à la discipline, organisation et planification du travail, compétences métacognitives, etc. Il reste que ces échanges devront être conduits par l'enseignant avec l'intelligence nécessaire à la préservation de l'image et l'estime personnelles de chacun des élèves, notamment pour ceux qui sont le plus en difficulté. Des expériences (Hall, 1997) ont montré l'importance de ces facteurs sur l'implication des élèves dans le travail et sur les résultats d'une pédagogie différenciée par la tâche.

8. CONCLUSION

Dans une démarche d'ingénierie didactique, nous avons conçu un logiciel hypermédia pour réviser le cours d'électricité de seconde. Une de ses caractéristiques est de laisser à l'élève la responsabilité de contrôler ses activités, tout en lui fournissant, pour faciliter cette activité, une aide basée sur la structuration du produit et sur des tests permettant une évaluation formative. Le dispositif expérimental mis en place pour observer l'usage du produit a montré qu'en moyenne 40 % des élèves de l'échantillon parvenait à faire une consultation adaptée à leurs besoins dans un domaine donné.

Ce résultat nous a paru faible compte tenu des circonstances favorables dans lesquelles nous nous étions placés (domaine déjà familier et connu en bonne partie, activité de ce type menée habituellement de manière traditionnelle). Pour effectuer leurs choix, les élèves ont, semble-t-il, utilisé des éléments du contrat didactique en cours dans les classes ainsi que des éléments fournis dans le logiciel. Ces éléments ont été insuffisants probablement, entre autre, parce que les élèves ne disposent pas des compétences leur permettant de travailler de manière efficace en autonomie : recul critique par rapport à la discipline, capacité d'organisation et de planification du travail, connaissances métacognitives. Comme nous croyons toujours utile d'impliquer l'élève dans « *des stratégies d'apprentissage l'engageant dans une démarche d'évaluation du manque, d'identification des ressources potentielles et de leur organisation puis dans une stratégie d'acquisition* » (Bruillard & de La Passardière, 1994, p. 28) nous pensons nécessaire d'introduire dans cette activité de révision médiatisée une médiation humaine, qui, au travers d'un dialogue approprié, permettrait à la fois de réguler l'activité elle-même et de construire ces compétences.

BIBLIOGRAPHIE

- ARTIGUE M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 9, n° 13, pp. 281-307.
- BRUILLARD E. & de La PASSARDIÈRE B. (1994). Hypermédias et éducation : des repères. *Sciences et techniques éducatives*, vol. 1, n° 1, pp. 17-38.
- BARON G.-L. & BRUILLARD E. (1996). *L'informatique et ses usagers dans l'éducation*. Paris, PUF.
- DEPOVER C., QUINTIN J.-J. & De LIÈVRE B. (1993). Éléments pour un modèle pédagogique adapté aux possibilités d'un environnement hypermédia. In G.-L. Baron, J. Baudé & B. de La Passardière (Éds), *Hypermédias et Apprentissages, Actes des deuxièmes journées scientifiques, Lille, 24-25 mars 1993*. Paris, INRP, pp. 49-62.
- HALL S. (1997). The problem with differentiation. *School Science Review*, vol. 78, n° 284, pp. 95-97.
- JOHSUA S. & DUPIN J.-J., (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.
- LINARD M. (1995). La distance en formation : une occasion de repenser l'acte d'apprendre. In G. Davies & D. Tinsley (Éds), *Proceedings of International Conference Accès à la Formation à Distance : Clés pour un Développement Durable, Geneva, 10-12 Octobre 1994*. Erlangen, Fim, pp. 46-65.
- LINARD M. (1996). *Des machines et des hommes - Apprendre avec les nouvelles technologies*. Paris, L'Harmattan.
- LINARD M. (1997). Apprendre avec les technologies de l'information et de la communication. Quels enjeux pour les formateurs ? In *Séminaire des chefs de mission à la formation des personnels de l'Éducation nationale des 14 et 15 mai 1997*. Paris, Ministère de l'Éducation nationale, pp. 25-33.
- MEIRIEU P. (1990). *École, mode d'emploi*. Paris, ESF.
- VENTURINI P. (1997). *Conception et évaluation d'une base de données hypermédia en électricité – Révision du programme de la classe de seconde*. Thèse de doctorat, Toulouse, Université Paul Sabatier.
- VENTURINI P. et VIEL L. (1997). Base de données hypermédia pour la révision de l'électricité de seconde : caractéristiques et analyse d'utilisation. *Sciences et techniques éducatives*, vol. 4, n° 2, pp. 165-191.

NOTE

REV.E.S. a été co-édité par le Centre National de Documentation Pédagogique et le Centre Régional de Documentation Pédagogique de Midi-Pyrénées.

Il est possible de se procurer le cédérom à la librairie du CNDP, 13 rue du Four, 75006 Paris et dans toutes les librairies du réseau CNDP/CRDP/CDDP.

CLAVEL J. (1997). *Rôle et place de l'appareil de mesure dans l'apprentissage à propos d'un ensemble de concepts en électrocinétique*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon I.

Partant d'une évidence, à savoir que la physique est une discipline expérimentale, Mme Clavel propose d'analyser le rôle d'un appareil de mesure (d'un « médium ») dans une situation d'apprentissage et ce en électrocinétique. L'appareil choisi, assez naturellement, est l'oscilloscope car ce dernier occupe une place centrale dans la plupart des montages relatifs à ce domaine.

Bien entendu, de nombreux travaux et réflexions ont déjà porté aussi bien sur l'expérimentation scientifique que sur la construction des connaissances en général et en électrocinétique en particulier. C'est pourquoi Mme Clavel en dresse un panorama qu'elle intitule socle théorique. Il s'agit d'une présentation qui nous semble manquer d'un peu de liant, au cours de laquelle on subodore les choix de Mme Clavel ; une conclusion indiquant clairement ses positions épistémologique et didactique eut été la bienvenue. Tout d'abord, d'un point de vue épistémologique, sur la place de l'expérience dans l'activité scientifique et l'évolution historique des analyses à ce propos, en particulier les apports des épistémologues récents, Mme Clavel indique une préférence pour Bachelard. Ensuite, il semble qu'elle se place dans une perspective vygostkienne pour donner un éclairage psychocognitif à son travail. Enfin, elle rappelle, dans le cadre des recherches en didactique de l'électrocinétique, les travaux publiés, ainsi que les études menées sur la place des travaux pratiques dans l'enseignement. Si ce socle apparaît absolument nécessaire, il est dommage qu'il n'y soit pas toujours explicitement fait référence dans les parties ultérieures de l'ouvrage.

Ensuite Mme Clavel précise sa problématique et décrit sa méthodologie basée sur une micro-ingénierie didactique complétée par la passation d'un questionnaire auprès d'une population importante.

La grille de lecture articulée autour de trois pôles d'observation est bien construite, c'est-à-dire exhaustive tout en restant simple ; elle constitue un des points forts du travail présenté dans ce mémoire car elle rend possible l'analyse de l'activité cognitive des élèves impliqués. Concernant les aspects qualitatifs cela est moins évident car, comme le fait remarquer avec juste raison Mme Clavel, les interventions de l'observateur peuvent influencer certaines réactions des élèves.

Mme Clavel vérifie bien ainsi que l'oscilloscope joue un rôle mobilisateur de connaissances lorsqu'on se place dans une situation d'apprentissage par l'action. Par contre lorsqu'elle extrapole en considérant qu'en agissant d'une manière analogue avec un environnement expérimental adéquat, cela induit des comportements de l'apprenant qui l'amèneront à l'élaboration de nouvelles connaissances, il serait intéressant tout d'abord de reprendre ce travail avec d'autres médiums afin de déterminer les spécificités de l'oscilloscope, ensuite de donner des précisions sur le statut de ces connaissances et enfin de montrer si le concept de « zone proximale de développement » présenté dans le socle théorique permet de rendre compte des résultats obtenus.

La partie suivante (un questionnaire passé auprès de 360 élèves ou étudiants) vise à valider les observations relatives au rôle de l'oscilloscope face à une situation problème en électrocinétique. Là aussi, le travail difficile de codage des données est très judicieusement réalisé et permet de mettre en évidence le rôle du médium dans le passage en quelque sorte du « novice » vers « l'expert » par réorganisation des

connaissances. De plus ce questionnaire permet d'identifier clairement une conception jusque là ignorée des didacticiens de la physique, à savoir « U constante n'importe où », conception repérée dans la partie précédente.

Enfin un travail sur les dyades met en évidence le rôle du médium par rapport à des solutions à moindre coût cognitif dans le cadre d'un apprentissage coopératif.

En conclusion, il apparaît dans ce mémoire un très important travail expérimental de recueil et plus encore de traitement des données. Mme Clavel a montré la possibilité d'un accès au système explicatif de l'élève et cela conduit à des résultats nouveaux qui intéressent à la fois la didactique de la physique et la psychologie cognitive.

J.-M. Dusseau

GUILLAUD J.-C. (1998). *Enseignement et apprentissage du concept de force en classe de troisième*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon I.

J.-C. Guillaud rapporte les travaux de sa thèse dans un ouvrage conséquent, rigoureux et clair. L'ampleur de l'ouvrage est à la mesure de l'ambition du titre : le concept de force en classe de troisième, son apprentissage et son enseignement. L'éventail des objectifs couvre donc : (I) l'analyse des concepts, des démarches et des obstacles de cet apprentissage, (II) une proposition structurée de contenus d'enseignements en six séances de deux heures et (III) une évaluation de cet enseignement au moyen de pré-test, post-test et classes témoins.

L'ouvrage est utilisable par – et accessible à des non-didacticiens pour autant qu'ils acceptent et recherchent le questionnement sur l'enseignement de la mécanique. Les propositions de séquences d'enseignement et de contrôles sont détaillées dans le livret d'accompagnement et sont ainsi directement transposables dans la formation et la réflexion des enseignants de mécanique de tous niveaux. Ces propositions respectent le cadre institutionnel des classes de troisième (programme, horaire). Ainsi, les enseignants

de physique pourront trouver chez Jean-Claude Guillaud un cadre explicite, précis et argumenté, pour un enseignement du concept de force.

Les chercheurs en didactique de la physique apprécieront les clarifications du cadre didactique et épistémologique : références bibliographiques sur la didactique de la mécanique, distinction entre « fait brut » et « fait scientifique », mécanismes de l'apprentissage conjuguant processus de modélisation et registres sémiotiques. Ils trouveront une description précise du protocole suivi et des résultats obtenus dans les trois classes expérimentales et dans les deux classes témoins.

Pour les enseignants et formateurs comme pour les chercheurs, l'ouvrage de Jean-Claude Guillaud est exemplaire, non pas en ce sens qu'il serait un modèle à suivre, mais en ce sens qu'il fournit un exemple de référence aux uns et aux autres.

Du point de vue de l'enseignement, l'ensemble des six séquences avec contrôles et tests montre et analyse une démarche d'enseignement/ apprentissage très structurée, démarche que tout enseignant et tout élève sont amenés à pratiquer souvent dans les classes, mais de façon plus floue.

Du point de vue de la recherche, le travail de Jean-Claude Guillaud présente les éléments nécessaires pour convaincre de la validité de la démarche suivie, de la pertinence des analyses sur les apprentissages par les élèves et de la réalité des résultats positifs observés dans les classes expérimentales.

Le modèle d'enseignement choisi par Jean-Claude Guillaud pour le concept de force en classe de troisième :

– porte sur les interactions mécaniques entre systèmes et sur leur modélisation par des forces (concept de masse exclus),

– utilise plusieurs registres sémiotiques fortement codifiés (trois registres pour chaque situation étudiée : (I) représentation symbolique par un diagramme Système-Interactions, (II) schéma de forces et (III) explication dans le langage naturel en termes de forces et de mouvement),

– se réfère à des situations expérimentales familières aux élèves pour permettre leur questionnement et l'émergence de leur propre système « d'explications primitives » ,

– aboutit à l'explication, par les élèves, de situations expérimentales non étudiées précédemment.

Ce modèle d'enseignement est fourni explicitement par l'enseignant aux élèves et il agit sur l'apprentissage des élèves comme un cadre fortement structuré et contraignant. L'analyse rigoureuse du modèle et des contraintes qu'il exerce sur les élèves a le grand intérêt de montrer comment ces contraintes fortes ne s'identifient aucunement à un dirigisme professoral qui rendrait les élèves passifs. Le modèle enseigné définit un domaine à l'intérieur duquel les élèves peuvent développer leurs apprentissages de façon autonome et personnalisée. La rigueur dans la construction et la mise en œuvre de l'enseignement du concept de force n'est ici aucunement synonyme de rigidité. Tout au contraire, elle est une condition nécessaire à l'épanouissement d'un apprentissage personnel, capacité à expliquer des situations de mécanique avec le modèle physique des forces sans limiter les transpositions aux seules analogies avec des situations déjà étudiées.

Les lecteurs, qu'ils soient chercheurs, formateurs et/ou enseignants, finiront leur première lecture de cet ouvrage (la lecture rapide qui se permet de survoler ce qui n'est pas un sujet d'intérêt immédiat) avec un triple sentiment : (I) le plaisir d'avoir trouvé de quoi alimenter leur propre pratique, (II) la certitude qu'ils n'ont pas épuisé la substantifique moelle et qu'ils pourront reprendre comme outil de travail tel ou tel volet de la recherche de Jean-Claude Guillaud et (III) un appétit réveillé pour les questions prolongeant leur lecture au delà du sujet traité par Jean-Claude Guillaud (par exemple : « les dynamiques relationnelles – travail par binômes, classe, contrat, – dans l'efficacité de l'enseignement et comment les cadrer pour qu'elles jouent de façon constructive ? » ou bien « Les domaines de la physique auxquels les modèles contraints sont particulièrement adaptés et ceux où les élèves pourraient contribuer de façon inductiviste à l'élaboration du modèle enseigné ? »).

En résumé, une lecture qui laisse de bonnes saveurs en bouche.

B. Maheu

ORANGE C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie. Quels apprentissages pour le lycée ?* Paris, PUF, 241 p.

L'ouvrage, issu d'une thèse soutenue à l'université Paris 7, s'attache à rechercher les conditions et les modalités d'un enseignement de la biologie qui débouche sur ce que l'auteur appelle des *savoirs intrinsèquement opérants*. « *La séparation des connaissances et des méthodes fait de la biologie une discipline écartelée entre des connaissances factuelles et des méthodes absolues, certes utilisées conjointement, mais fondamentalement indépendantes ; il est alors difficile de relier clairement savoir et problème* ». Ce « grand écart » entre l'actualité des connaissances enseignées dans un domaine où elles explosent et la formation de compétences méthodologiques chez les élèves est généralement vu sur le mode d'une complémentarité « naturelle », plutôt qu'en termes de tension conflictuelle à assumer comme telle. Il en résulte une prégnance positiviste et empiriste souvent dénoncée, mais moins souvent prise à bras-le-corps comme une problématique didactique. Christian Orange accepte le défi d'attaquer ces questions au niveau difficile du lycée, quand la majorité des recherches en didactique des sciences portent encore sur l'école et le collège. Disons-le d'emblée, son pari nous semble tenu.

Pour lui, il ne s'agit pas de développer en biologie les activités de résolution de problèmes, dont le statut scolaire oscillerait entre le *motivationnel* et l'*évaluatif*, mais de placer les élèves en situation de poser et de construire des problèmes, sous la conduite de l'enseignant mais sans que celui-ci « tégéluide » comme trop souvent les activités. « *Définir un concept, c'est formuler un problème* » (Canguilhem), la science étant « *essentiellement une activité qui vise à résoudre des problèmes* » (Laudan) : voilà qui peut donner aux savoirs biologiques leur caractère opérant, et pour tout dire théorique,

dès lors qu'on n'enferme pas ce terme dans ses connotations négatives, aussi verbeuses et prétentieuses qu'inopérantes, mais que l'on assume avec Lewin qu'« il n'est rien de plus pratique qu'une bonne théorie » ! Construire le problème suppose le recours à la modélisation, et la pratique de celle-ci en classe (qu'il ne faut pas confondre avec la présentation de modèles) s'avère essentielle pour transformer ce que Piaget nommait le « cadre épistémique » du sujet, ou Toulmin ses « intelligibles fondamentaux ».

Dans une première partie, Christian Orange développe sa conception du modèle comme un processeur ouvert, permettant le passage d'un registre empirique à un registre explicatif (REX) : « Construire un modèle pour résoudre un problème revient à développer une représentation calculable (fonction de processeur) de ce problème dans un monde qui donne sens à ce modèle (fonction explicative) et qui permet de le manipuler intellectuellement (fonction heuristique) » (p. 47). Il distingue modélisation symbolique et modélisation formelle, et justifie son option en faveur de la seconde – plus précisément des modèles à compartiments, fréquents dans les domaines de la nutrition et de l'écosystème, mais sans que leur statut de modèle y soit bien affirmé ni assuré. L'examen des manuels montre en effet que pour les tâches-élèves correspondantes, « il n'y a jamais élaboration ou même modification de modèle, mais seulement quelquefois fonctionnement simple d'un modèle. [...] les schémas servent avant tout à résumer et à synthétiser des connaissances. Ils recherchent la simplification et l'aide à la mémorisation et ne visent pas la structure nécessaire en rapport avec un problème bien identifié » (p. 114). Christian Orange insiste : « Ceci en parfaite cohérence avec la conception de la connaissance qui apparaît dans les textes officiels et qui fait obstacle à une conception opérante du savoir : le savoir est chosifié – ici par des schémas – et séparé de son opérationnalisation pour la maîtrise de problèmes » (p. 115).

La seconde partie de l'ouvrage, *a contrario*, présente et discute en détail une gamme d'activités conformes aux programmes, qui mettent effectivement en jeu la construction de problèmes et d'opérations de modélisation

par les élèves. « Cette construction du problème, prévient l'auteur, n'a pas pour but de faire « inventer » aux élèves un modèle compartimental, mais elle doit les conduire à une problématique qui rend **plausible** et **pertinent** le recours à la modélisation » (p. 152). Faute de place, nous laisserons le lecteur découvrir l'analyse faite des obstacles épistémologiques à dépasser, comme des objectifs visés et des problèmes posés. On aura compris qu'il s'agit d'un ouvrage important et novateur, par lequel l'auteur présente sobrement des orientations théoriques et pratiques qui mériteront de nouvelles expérimentations didactiques. Une voie est tracée qui peut permettre à l'enseignement de la biologie de dépasser ses actuelles contradictions.

J.-P. Astolfi

PLÉTY R. (1998). Comment apprendre et se former en groupe. Paris, RETZ.

Cet ouvrage est composé de trois parties : La première partie s'intitule *Qu'est ce qu'apprendre et se former en groupe ?* Elle est divisée en 2 chapitres : *Inventaire du concept* et *Histoire des pratiques*.

C'est une revue de questions des travaux antérieurs sur le thème du travail en groupe. Dans le chapitre *Inventaire du concept* il est question rapidement de l'apprentissage et de façon plus approfondie de la notion de groupes d'apprentissage en distinguant le groupe classe, le tutorat, les petits groupes et les réseaux. Dans le chapitre *Histoire des pratiques* l'auteur décrit les différents courants pédagogiques qui ont utilisé le travail en groupe en différenciant différentes finalités : le groupe comme commodité pédagogique, le groupe comme avantage pédagogique, le groupe comme moyen pédagogique, le groupe comme lieu pédagogique. Le chapitre se termine par une comparaison entre pédagogie et andragogie (équivalent de la pédagogie en formation d'adultes).

La deuxième partie s'intitule *Apprendre et se former en groupe conduit-il à un véritable apprentissage cognitif ?*

Elle est composée de 4 chapitres :

La capacité de coopération de l'apprenant. L'auteur y définit le postulat de **coopérabilité** en s'appuyant sur des théories de l'apprentissage et/ou du développement (Cousinet, Dewey, Vygotsky, les tenants de la nature sociale de l'intelligence, l'école de Genève). Il développe ensuite les concepts de conflit cognitif et d'empathie cognitive. Il termine ce chapitre en analysant la formation des adultes sous les mêmes angles.

Processus d'apprentissage en groupe dirigés. Ce très bref chapitre dégage différents processus, contribuant à un apprentissage cognitif, qui ont lieu au cours du travail en groupe : processus de facilitation et processus de structuration et définissant les conditions pour qu'ils puissent prendre place.

Processus d'apprentissage en groupe autonome. Ce chapitre est centré sur les interactions dans le groupe en définissant leur place, leur rôle, leurs relations avec l'apprentissage cognitif, les conditions à respecter débouchant sur des règles pour une pratique et une théorie de l'apprentissage coopératif.

Une situation nouvelle : l'apprentissage en réseau. Dans ce chapitre l'auteur s'intéresse au travail en groupe plus ou moins médiatisé par ordinateur. Il fait une revue des travaux du domaine en insistant sur le fait que l'ordinateur conçu *a priori* plutôt comme un outil au service de la recherche s'est révélé être un partenaire important pour l'apprentissage cognitif. La dernière partie du chapitre est consacrée à l'Internet et à ses possibles rôles dans les apprentissages.

La troisième partie composée de deux chapitres est titrée *Comment mettre en œuvre l'apprentissage coopératif ?*

Les conditions de faisabilité. Ce chapitre détaille les conditions à satisfaire pour mettre en œuvre un apprentissage en groupe en organisant par rapport aux acteurs : conditions pour les apprenants, conditions pour l'enseignant (ou le formateur), conditions pour le savoir, conditions pour l'institution.

Apprendre et se former en groupe : une adaptation au monde nouveau de la complexité. Dans ce dernier chapitre l'auteur interprète le travail en groupe avec les concepts de la complexité : émergence, ordre

qui se construit sous un désordre apparent, dialectique ordre/désordre comme condition de la création, etc.

Cet ouvrage est à la fois théorique -en résumant les théories de l'apprentissage socio-constructiviste et en analysant les différents courants pédagogiques ayant utilisé de façon centrale le travail en groupe- et pratique -en détaillant bien les expériences conduites actuellement et en déduisant les conditions à satisfaire.

Il s'adresse aux praticiens (enseignants en classe ou formateurs d'adultes) qui y trouveront des justifications et des guides.

Pour des chercheurs non spécialistes de ce domaine cet ouvrage fait un point, toutefois le chapitre sur les interactions aurait mérité d'être plus développé et de davantage s'appuyer sur les nombreux travaux actuels qui se développent dans ce champ. Le rôle de l'enseignant (majeur, central, irremplaçable) même lors du travail en petits groupes, n'est pas suffisamment étudié, on pourrait penser que l'enseignant, pendant les périodes de travail en groupe est en retrait et que les élèves « redécouvrent » seuls ou presque.

Le dernier chapitre est assez inhomogène au reste de l'ouvrage.

A. Dumas-Carré

QUINTANA-ROBLES M. (1998). *Étude didactique de films comme aide pour l'enseignement de la physique. Cas de l'expansion des gaz.* Thèse de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon I.

Cette thèse étudie les perspectives d'utilisation de films comme moyens de construire des ensembles de connaissances à présenter aux élèves et peut être considérée comme une exploration réussie d'un domaine relativement peu fréquenté.

Tout d'abord, deux films présentant, à propos de l'expansion des gaz, des situations mettant en jeu des phénomènes macroscopiques et un modèle particulière ont été construits. Ces films qui diffèrent par l'ordre des séquences ont été présentés à des élèves de troisième, de première et d'IUT. On leur a ensuite demandé, en travaillant en binômes, d'une

part de remplir un certain nombre de tâches papier crayon et d'autre part de raconter, sous forme de narration, le film qu'ils avaient vu.

Le cadre théorique des recherches est fixé dans la première partie du mémoire. Bien que les mots de modèle et de modélisation ne figurent pas dans le titre, les concepts correspondants sont au cœur du travail. Il n'est donc pas surprenant que cette partie commence par des rappels sur les notions de modèle et de modélisation, en s'appuyant sur les travaux de A. Tiberghien qui distingue trois niveaux de modélisation : théorie, modèle et champ expérimental. La nature même des recherches entreprises a incité à introduire entre les deux derniers niveaux un quatrième niveau appelé modèle matérialisé.

Bien entendu, le travail s'appuie aussi sur les travaux antérieurs portant sur le modèle particulière (Novick & Nussbaum, Gabel et al, de Vos & Verdonk et plusieurs publications récentes de Méheut, de Larcher et de Séré).

Les questions de recherche portent sur les connaissances évoquées par les élèves après le film, sur l'influence de l'ordre des séquences, sur les niveaux de modélisation et enfin sur les questions que se posent les élèves.

L'expérimentation porte sur 48 élèves se distribuant entre trois niveaux scolaires et trois établissements. Les sujets voient un film une seule fois, sans pouvoir intervenir dans son déroulement. Ils doivent ensuite répondre à des questions dans un test papier crayon, pour quatre situations différentes en rapport avec les connaissances du film. Une autre tâche demandée aux élèves consiste à raconter le film à son binôme.

Les films comportent sept séquences pour un total de six minutes trente (présentation du modèle, simulation de la détente d'un gaz au niveau microscopique, simulation du mouvement des molécules, expérience de la détente d'un gaz, interprétation microscopique de cette expérience, non expansibilité des liquides et interprétation microscopique de cette expérience). Le soin apporté aux aspects langagiers se traduit par l'utilisation de termes différents pour désigner les objets étudiés : molécules dans le modèle et cylindres dans le film. La sélection qui a été faite parmi les

caractéristiques du modèle et des situations est en partie explicitée.

L'analyse des résultats est présentée en deux parties distinctes (tâches papier crayon et narrations) et précédée par une analyse *a priori* bien conduite.

L'analyse des activités de modélisation est particulièrement intéressante. Elle est basée sur les quatre niveaux de modélisation définis plus haut, en examinant à quel niveau appartiennent les réponses, avant et après le film, et en déterminant si les réponses touchent plusieurs niveaux simultanément. L'analyse est complétée par une distinction entre quatre types de réponse : langage naturel, écriture symbolique, graphes et tableaux.

La résolution de tâches papier crayon met en jeu des aspects opératoires. Elle est analysée du point de vue de la construction du sens et de celui des niveaux de modélisation. La construction du sens est analysée très en détail pour les quatre situations. Les élèves se comportent en gros comme attendu et les résultats inattendus sont examinés de manière très rigoureuse.

En ce qui concerne les niveaux de modélisation, l'analyse globale montre que les relations entre la théorie et le champ expérimental sont peu modifiées. On remarque cependant que, pour les élèves de l'IUT, une sorte de concurrence apparaît entre l'outil théorique qu'ils ont acquis et l'outil moléculaire procuré par le film.

On observe plutôt des relations internes à chaque niveau et, lorsque des relations externes apparaissent, elles sont établies entre le modèle matérialisé et le champ expérimental. C'est ici que la représentation graphique utilisée montre sa grande pertinence et son efficacité. Vingt quatre diagrammes très parlants résumant à la fois l'état des connaissances avant le film et son évolution. Il me semble qu'il s'agit là d'un outil extrêmement intéressant qui devrait rendre des services dans toutes les recherches où l'on s'intéresse au changement conceptuel.

L'analyse montre que le film aide bien à mettre en œuvre des explications fondées sur le modèle moléculaire et favorise les mises en relation entre différents niveaux. La situation intervient en suscitant selon sa nature des

explications continues ou discontinues et une situation familière suscite plutôt des explications ne faisant pas intervenir la physique.

La narration des films fait appel aux aspects déclaratifs. L'analyse porte d'abord sur les connaissances évoquées après avoir vu le film. Les 17 unités de connaissance recensées sont pour la plupart celles du film et la narration suit fidèlement l'ordre de présentation adopté dans le film. Il apparaît chez les élèves un besoin très net de mise en relation et d'articulation du nouveau avec l'ancien.

En ce qui concerne les niveaux de modélisation, la construction d'un lien entre le monde des choses et le monde théorie-modèle est bien favorisée par la présentation d'un niveau intermédiaire (modèle matérialisé) et il n'y a pas de grande différence entre les deux films. Les élèves sont capables de raconter le film et de décrire ses images en respectant le sens physique et tendent à limiter leur registre sémiotique au langage naturel et au dessin.

L'analyse des questions que se posent les élèves, pendant et juste après le film, permet de distinguer trois groupes de questions tournant autour du modèle ou du champ théorique ou bien du modèle matérialisé ou encore du champ expérimental, sans grande différence entre les films.

Les résultats de cette analyse montrent que :

- les connaissances les plus fréquemment évoquées concernent les expériences de laboratoire et l'aspect dynamique de l'air aux niveaux macroscopique et microscopique. Les connaissances les moins fréquemment évoquées concernent les propriétés du modèle moléculaire ;
- les élèves ont tendance, dans la présentation des connaissances, à suivre l'ordre de présentation du film. On constate de plus un grand besoin de relier le nouveau au connu ;
- en ce qui concerne les activités de modélisation des élèves, on voit que le film, et plus particulièrement l'apport du niveau matérialisé, favorise la mise en relation entre niveaux de modélisation ;
- on n'observe pas de différences importantes entre les deux films en ce qui concerne les questions des élèves.

D'une manière générale, les connaissances évoquées après avoir vu le film sont pour la plupart celles du film. Parmi les connaissances du film, certaines comme l'indéformabilité des molécules ne sont jamais évoquées et d'autres sont peu évoquées (air comme gaz). Par contre, plusieurs autres connaissances ne provenant pas du film apparaissent. L'ordre de présentation des séquences du film n'a pas beaucoup d'influence sur ce point.

On voit que les élèves sont capables de raconter le film en respectant le sens physique et qu'ils privilégient le langage naturel et le dessin.

M. Chastrette

ROBLES A. (1998). *La vidéo comme support didactique en physique*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon I.

La thèse de M. Roblès porte :

- sur la réalisation d'une bande-vidéo considérée comme support didactique d'aide à la compréhension du modèle microscopique de la propagation du son,
- et sur son évaluation auprès d'élèves de classe de seconde.

C'est une thèse novatrice dans le champ de la didactique de la physique, à la fois par le sujet traité et par la méthodologie suivie. Au lieu d'avoir une innovation basée sur l'empirisme du concepteur comme on le voit, hélas, trop souvent, ici nous avons au contraire une innovation raisonnée pour laquelle l'image et le texte l'accompagnant sont définis *a priori* à partir des recherches antérieures de didactique et d'analyses sémiologiques de l'image. Ainsi la bande vidéo réalisée est déjà le résultat d'un travail de recherche approfondi. Nous nous trouvons devant une véritable ingénierie didactique, au sens que lui donne M. Artigue.

Le chapitre I rappelle le contexte de cette recherche, à savoir l'introduction de l'étude des phénomènes sonores en classe de Seconde avec, à côté de la description macroscopique, l'introduction d'une description microscopique, ce qui est nouveau dans

l'enseignement français. Mais comment introduire cette description qui reste dans le domaine du non-visible, du modèle particulière ?

C'est à cette question que s'attaque, dans le chapitre II, M. Roblès. Dans ce chapitre, l'auteur fait le point sur les travaux de didactique des sciences physiques sur les conceptions des élèves relatives à la fois aux modèles particuliers et aux phénomènes sonores. Il souligne que l'une des difficultés prévisibles chez les élèves sera d'articuler la phénoménologie au modèle microscopique. L'un des moyens de surmonter cette difficulté sera la réalisation d'un film vidéo de 3 minutes présentant le mouvement de petits disques aimantés et animés de mouvements erratiques flottant sur coussin d'air. Toutefois, d'un point de vue physique, on peut se poser la question de la justesse d'un tel simulateur vu que la longueur d'onde et le libre parcours moyen des palets mobiles sont du même ordre de grandeur, ce qui fait que le simulateur est un piètre modèle de la propagation du son dans l'air. Mais d'un point de vue qualitatif il semble suffisant.

Dans le chapitre III, M. Roblès présente la méthodologie qu'il a suivie tant pour réaliser son film que pour recueillir les données auprès des élèves ayant vu le film et pour les analyser, et ce suivant différents protocoles. Si le film est censé répondre aux difficultés prévisibles des élèves, sa conception correspond à une véritable ingénierie réfléchie. Le film part d'une situation de la vie courante (un concert), pour ensuite aller à une situation de classe (l'excitation d'un diapason) et finalement présenter le modèle microscopique à travers un modèle mécanique. Les relations images et paroles sont analysées quant à l'autonomie, ou non, des paroles par rapport à l'image. Tous les protocoles de passation avec les élèves sont décrits minutieusement ainsi que l'analyse des discours. L'originalité de ce travail consiste en l'utilisation de narrations d'un groupe d'élèves à un autre groupe pour raconter ce qu'ils ont vu du film, ceci avant et après enseignement. L'emploi des narrations et leur analyse linguistique, avant tout lexicale, sont une première en didactique des sciences physiques. Sans doute le rattachement de l'équipe COAST à un laboratoire de linguistique y a été pour quelque chose et

produit ainsi ses premiers fruits qui seront, sans aucun doute, repris par d'autres chercheurs. Le travail est complété par la résolution qualitative de deux problèmes papier-crayon demandant de décrire ce qui se passe dans deux phénomènes sonores, l'un dans l'air, l'autre dans l'eau. Les grilles d'analyse des narrations, basées sur un découpage en phrases, permettent de voir comment les élèves réinvestissent les informations contenues dans le film.

Le dernier chapitre regroupe l'ensemble des résultats obtenus par M. Roblès qui a le souci d'en faire des présentations synthétiques malgré les nombreux plans de passation. Il est à noter que c'est après enseignement et après visualisation du film une deuxième fois suivie d'une résolution de l'une des tâches papier-crayon que l'on voit apparaître l'emploi d'un lexique scientifique plus fourni. Les résultats relatifs aux deux situations papier-crayon analysées en termes de chaîne sonore montrent que malgré des situations analogues (pour le physicien) les narrations des élèves sont différentes sur l'emploi du modèle microscopique.

L'intérêt de ce travail, au-delà de sa contribution à la didactique de l'enseignement d'un modèle particulier pour décrire la propagation du son, est dans la méthodologie suivie, à savoir la technique de la narration et l'analyse en termes de phrases liées ou non aux images du film, ainsi que l'analyse du discours en termes de complétude de la chaîne sonore.

M. Caillot