

L'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE VU PAR LES ENSEIGNANTS

Guy Robardet
Anne Vérin

Ce numéro d'*Aster* réunit un ensemble de contributions centrées sur une meilleure connaissance des enseignants scientifiques et de leurs conceptions de l'enseignement et de l'apprentissage, à travers l'analyse de leurs discours et de leurs pratiques d'enseignement. Mieux connaître ces conceptions est un enjeu pour la didactique car elles orientent les prises de décision dans la classe. C'est un enjeu également pour les formateurs et les promoteurs de changement du système scolaire car elles constituent les grilles de lecture à partir desquelles les enseignants donnent du sens aux discours des formateurs et interprètent les changements de programmes.

De très nombreuses études ont été conduites depuis plus de vingt ans, notamment dans les pays anglo-saxons et au Québec, concernant les représentations sociales vis-à-vis de la science et de son enseignement. Certaines ont concerné les élèves, d'autres les enseignants en exercice, les dernières, moins nombreuses, se sont intéressées aux représentations des futurs enseignants. Certaines de ces recherches portent sur la description des conceptions de la science, d'autres sur la mise en œuvre de stratégies visant à modifier l'idée de science chez les enseignants, d'autres, enfin, concernent l'identification des relations entre l'idée de science des enseignants, leurs pratiques, et l'idée de science des élèves. Toutes ces recherches de représentations s'intéressent donc plus ou moins directement à l'épistémologie implicite des enseignants, des étudiants et des élèves. Elles ne parviennent pas toujours à des résultats identiques ; cependant sur l'ensemble, il est possible de dégager quelques aspects essentiels.

Images de la science

Il ressort en premier lieu de la majorité d'entre elles que la plupart des personnes interrogées assimilent la science à la méthode scientifique, qu'elles considèrent comme parfaitement programmée et unique. De plus, ces études semblent montrer que pour de nombreux élèves, et même pour de futurs enseignants, les connaissances scientifiques apparaissent comme cumulatives, chaque connaissance constituant un acquis non révisable sur lequel d'autres connaissances viennent ensuite s'ajouter. Celles-ci sont ainsi souvent considérées comme vraies et définitives et non pas admises provisoirement. À l'extrême, on trouve une vision de la science qui s'appuie sur une réalité accessible,

une vision
empirico-
réaliste de la
science

dominante chez
les enseignants

pour laquelle les lois de la nature sont préexistantes au chercheur, lois qu'il suffit de découvrir et de révéler à la connaissance : il y aurait donc en science de moins en moins de choses à découvrir. Ces résultats sont généralement interprétés par les chercheurs sous la forme d'une représentation sociale de la science et de son fonctionnement, qui se construirait et se renforcerait au sein de l'institution scolaire elle-même, et que Désautels *et al.* décrivent en ces termes : "il est reconnu que, de manière générale, les enseignants adhèrent à une vision empirico-réaliste de la science qui les conduit à privilégier un enseignement assez traditionnel dans lequel ni le statut épistémologique des élèves (en tant que re-producteurs du savoir) ni le caractère construit et social du savoir scientifique ne sont considérés. [...] Les enseignants auraient assimilé, à l'instar de leurs élèves, la représentation implicite aux curriculums, c'est-à-dire la version empirico-réaliste de la production du savoir scientifique." (1)

la science vue
comme la
conquête du vrai
par la rigueur de
la méthode
scientifique

De plus, cette vision de la science serait à l'origine d'un "mythe scientiste" chez les élèves comme chez les enseignants, que Nadeau et Désautels définissent comme une confiance excessive dans la méthode scientifique empêchant sa mise en question : "Seule la science pourrait nous assurer d'une conception juste de quoi que ce soit, elle serait la mise en œuvre d'une pratique obéissant à des règles méthodiques rigoureuses assurant la conquête du vrai. (...) Il résulte de cette attitude une surlégitimation et une survalorisation de l'activité scientifique." (2)

des conceptions
hétérogènes
cependant

D'autres études font cependant remarquer que, s'agissant du fonctionnement de la science dans des contextes particuliers, et non de sa nature ou de ses méthodes en général, des réponses semblent révéler l'existence chez les enseignants de tendances constructivistes très semblables aux idées avancées dans l'épistémologie contemporaine. Ce résultat confirmerait la présence relativement fréquente d'une représentation hybride de type "empirico-constructiviste". Il ne serait, de plus, pas rare de rencontrer chez un même individu une certaine hétérogénéité de croyances relatives à la science et à son fonctionnement. Koulaïdis et Ogborn, soulignant par ailleurs l'abus qui consisterait à assimiler systématiquement les croyances des individus avec des positions philosophiques construites, disent avoir relevé ce genre de phénomène (3).

-
- (1) Désautels, J., Larochelle, M., Gagné, B., & Ruel, F. (1993). "La formation à l'enseignement des sciences : le virage épistémologique". *Didaskalia*, 1, p.55.
 - (2) Nadeau, R. & Désautels, J. (1984). *Épistémologie et didactique des sciences*. Conseil des sciences du Canada, coll. "Exposé à débattre".
 - (3) Koulaïdis, V., & Ogborn, J. (1989). "Philosophy of science : an empirical study of teachers' views". *International Journal of Science Education*, 11, 2, 173-184.

un décalage
entre la science
d'autrefois
idéalisée et la
science actuelle,
produit de
l'activité
humaine

Dans le même sens, il ressort d'une étude de Guilbert et Meloche (4), effectuée auprès de futurs enseignants scientifiques québécois, que si la science est perçue par le plus grand nombre comme objective, il n'en serait pas de même des scientifiques qui auraient le plus grand mal à atteindre cet "idéal". Les auteurs interprètent toutes ces visions paradoxales de la science et de son fonctionnement par l'existence d'un décalage entre l'idée d'une science pure "idéalisée" d'autrefois que les futurs professeurs auraient construite au cours de leurs études, et la science "actuelle", produit de l'activité humaine donc construite, perçue avec ses imperfections, ses hésitations, ses prudences. Ce décalage dans les représentations serait dû à une méconnaissance du contexte socio-historique ayant présidé à l'élaboration du savoir scientifique et ne serait pas forcément toujours bien vécu par les individus.

Conceptions de l'enseignement scientifique

des finalités
qui évoluent

De nouvelles définitions des finalités de l'enseignement scientifique se sont développées ces dernières années avec la demande sociale d'un enseignement scientifique "pour tous", lié au développement d'une culture scientifique et technique, ou encore le courant "science et société" qui veut mettre en relation connaissances scientifiques et activités humaines. Pour Edgar Morin, (5) *"ce qui peut aider à former une tête bien faite aujourd'hui, c'est le nouvel esprit scientifique qui se développe dans les sciences polydisciplinaires et qui conduit à relier, contextualiser et globaliser sans perdre le concret ni l'analyse (...). Selon notre perspective, la culture scientifique apporterait ses connaissances à la culture générale, laquelle apporterait ses interrogations et réflexions à la culture scientifique."* Par ailleurs, la formation scientifique peut être vue comme un moyen de développer des compétences d'ordre général. L'ouverture de l'école à l'occasion de partenariats, de projets, l'introduction de thèmes tels que santé et environnement dans les programmes sont l'une des illustrations de cette tendance selon laquelle la transmission des savoirs occupe une place moins exclusive dans l'enseignement scientifique, à côté de l'éducation à la rationalité ou la formation de compétences langagières.

demande sociale
d'une culture
scientifique pour
tous

transmission des
savoirs mais aussi
formation de
l'esprit et de la
personnalité

Les représentations de l'enseignement scientifique chez les enseignants sont liées à la fois à l'image de la science, aux conceptions de l'apprentissage et aux finalités attribuées à la formation scientifique. Ces dimensions apparaissent dans un certain nombre d'études portant sur les enseignants de

chez les
enseignants deux
pôles dans les
conceptions...

-
- (4) Guilbert, L., & Meloche, D. (1993). "L'idée de science chez les enseignants en formation : un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions ?". *Didaskalia*, 2, 7-30.
- (5) Morin, E., "Éducation : réforme ou réformettes ?". *Le Monde* du 18 juin 1998.

... centration
sur le savoir
disciplinaire,
centration
sur l'activité
cognitive
de l'élève

sciences. Ainsi dans l'enquête conduite par Mabile (6), les trois facteurs que l'analyse fait apparaître et qui se combinent pour déterminer des profils différents sont les suivants : la fonction attribuée à l'élève dans le processus d'enseignement, comme sujet ou objet de formation ; le rapport au savoir scientifique, une visée de développement d'une culture scientifique, impliquant l'intégration de savoirs multidisciplinaires, s'opposant à une priorité donnée à l'acquisition de savoirs disciplinaires spécialisés ; le projet de formation, avec une centration sur l'acquisition de capacités de base transversales ou au contraire sur la structuration de contenus spécifiques. Gallagher (7) différencie de façon nuancée six conceptions de l'enseignement scientifique selon le degré de proximité avec le savoir savant (contenu organisé suivant une logique scientifique ou structuration signifiante pour les élèves), et les objectifs d'apprentissage (acquisition de connaissances transmises ou découvertes, raisonnement, changement conceptuel, réorganisation cognitive).

Évolutions ou ruptures

processus de
transformation
des conceptions
des enseignants

Les différentes positions épistémologiques, psychologiques et didactiques amènent à penser différemment l'enseignement scientifique. L'épistémologie contemporaine débat de la place que prend la composante sociale dans la construction des savoirs scientifiques. La psychologie des apprentissages d'inspiration constructiviste met l'accent sur le rôle des interactions sociales. La didactique tend à développer une théorisation constructiviste des processus d'enseignement et d'apprentissage et élabore des modèles pédagogiques qui la traduisent (8). Ces évolutions conduisent-elles à des ruptures épistémologiques et méthodologiques dans les conceptions du métier d'enseignant scientifique ? On peut s'interroger sur les processus de transformation de ces conceptions, les résistances et les raisons de ces résistances, et examiner dans cette perspective les modalités de formation ou de participation à des innovations ou recherches.

Des études qui prennent en compte la complexité des conceptions

Le présent numéro d'*Aster* se propose d'apporter sa contribution au débat au moment où, en France, se trouve une fois de plus posée la question de l'amélioration du système

-
- (6) Mabile, A. (1994). *Profils de profs. Portraits et styles d'enseignants en sciences*. Bruxelles : De Boeck.
 - (7) Gallagher J.J. (1993). *Six views of teaching science. An invitation to reflection and discussion*. Michigan State University.
 - (8) Sur ce thème, voir en particulier les numéros 16 et 17 d'*Aster*.

comprendre la
logique et la
fonctionnalité
des conceptions
de
l'enseignement
scientifique

éducatif, de la rénovation de l'enseignement secondaire, de la définition de nouveaux regroupements disciplinaires parmi lesquels celui des disciplines scientifiques.

Le paradoxe constructiviste dont Louden et Wallace (9) soulignent l'ironie, paraît un risque réel pour les recherches qui prennent les enseignants pour objet. "Ce paradoxe", nous disent-ils, "concerne la signification attribuée à l'état des connaissances des enseignants. Les enseignants sont encouragés, lorsque les élèves ne comprennent pas, à partir de leurs connaissances initiales, à les aider à les expliciter et à fournir des occasions d'élaboration et de changement de ces connaissances. Mais lorsque les enseignants n'enseignent pas d'une façon qui permette de faire comprendre ou construire des connaissances conceptualisées de haut niveau, on considère que leurs connaissances didactiques sont insuffisantes." Le processus de changement de cadre de pensée est bien pris en compte chez les élèves, il est parfois sous-estimé chez les enseignants. Les études réunies ici évitent ce risque en examinant la complexité des conceptions, dans une perspective de compréhension de leur logique et de leur fonctionnalité, et en tentant de repérer les nœuds de difficulté et les processus de transformation.

Des représentations de la science qui peuvent se constituer en obstacles aux approches didactiques

Une première catégorie d'articles concerne l'étude de représentations parfois contradictoires avec les approches didactiques et que les dispositifs de formation initiale ou continue auraient à prendre en compte. Trois enquêtes par questionnaires sur les sciences physiques ou biologiques et leur enseignement permettent de préciser des constantes et des différences auprès de populations assez larges de futurs enseignants en formation initiale ou d'enseignants en exercice.

une vision des
sciences
physiques
empiriste et
réaliste
dominante mais
variant selon les
dimensions
considérées...

Qu'est-ce que la science ? Comment s'élabore le savoir scientifique ? Les connaissances scientifiques sont-elles objectives ? Pour tenter de connaître leurs représentations sur ces questions d'épistémologie, Ezio Roletto a interrogé près de 300 élèves-professeurs des écoles, des collèges ou des lycées. L'analyse fine des réponses montre que si la vision empiriste et réaliste de la science est majoritaire, peuvent coexister à côté de cette vision des affirmations attribuant aux connaissances scientifiques un caractère de vérité relative et historiquement déterminée. Les images de la science ne se constituent pas comme un tout homogène mais peuvent varier selon les dimensions envisagées, c'est tout l'intérêt de cette étude de ne pas s'arrêter à des catégo-

(9) Louden W., Wallace J.(1994). "Knowing and teaching science : the constructivist paradox". *International Journal of Science Education*, 3, 649-657.

risations générales mais de tenter d'approcher la complexité de ces représentations.

... et susceptible de se transformer selon le contexte de formation

Dans une étude portant à la fois sur plus de 200 enseignants en formation dans quatre IUFM, étudiants en sciences physiques à l'Université et professeurs en exercice, Guy Robardet se propose de montrer comment les approches didactiques des phénomènes d'enseignement-apprentissage doivent affronter, en formation des professeurs, une représentation sociale dominante susceptible de s'ériger en obstacle puissant vis-à-vis d'elles — représentation que l'on peut néanmoins considérer historiquement comme un progrès, légitimant l'enseignement expérimental en réaction aux approches scolastiques. Lorsque la formation en didactique des sciences bénéficie de moyens institutionnels consistants, le déplacement de cette représentation s'avère possible.

l'image empiriste des sciences de la Vie et de la Terre transparait dans les points de vue sur la motivation

Faouzia Kalali fait œuvre originale en choisissant d'étudier la motivation dans une perspective didactique. Dépasant la polysémie que ce terme véhicule, elle en précise les différentes dimensions — sociale, cognitive et affective. Plus de 100 enseignants de biologie ont été interrogés par questionnaire. Alors que les problèmes de motivation diagnostiqués chez les élèves relèvent d'après eux de problèmes de maîtrise des connaissances, peu d'entre eux se situent dans ce registre lorsqu'on leur demande les stratégies qu'ils adoptent pour favoriser la motivation. Ils privilégient majoritairement l'illustration par le concret, comme si les concepts de biologie étaient acquis d'eux-mêmes. Par un autre biais, on retrouve ici aussi l'expression d'une tradition empiriste.

résistances et difficultés à donner une place active aux élèves

Si la connaissance des représentations s'avère utile aux formateurs, l'identification et l'analyse des pratiques réellement mises en œuvre en classe présentent naturellement un intérêt de tout premier ordre. S'il paraît évident que les représentations orientent les pratiques, rien ne dit, en effet que, confronté aux contraintes du terrain de l'enseignement, le professeur parvienne à réaliser ce qu'il juge bon de faire. D'autres articles s'attachent, dans ce numéro, à l'étude de ces pratiques, soit directement par observation et enregistrement en classe, soit indirectement, par des entretiens centrés sur l'évocation précise de séquences d'enseignement.

Pratiques d'enseignement et discours sur ces pratiques

mise en œuvre d'un raisonnement expérimental linéaire...

À partir de l'enregistrement de discours d'enseignants dans leur classe, Simone Bomchil et Bernard Darley montrent comment les représentations de type empirico-réaliste et le jeu des contraintes de la classe conduisent finalement le professeur à dénaturer une démarche de résolution de problème de type hypothético-déductive et à recourir en réalité à des pratiques dogmatiques similaires à celles qu'utilisaient

...lié à un
crypto-
dogmatisme
déductiviste ...

... ou à des
objectifs trop
larges pour
les activités
expérimentales

les nœuds de
difficultés dans
la mise en
œuvre d'un
enseignement
constructiviste

la prise en
compte des
obstacles
conceptuels
sur l'énergie
est peu
fréquente

les scolastiques. En conséquence, la formation professionnelle devrait mettre l'accent, proposent-ils, non pas sur la rigueur déductive, mais au contraire sur la démarche heuristique, encourageant une approche plus ouverte des problèmes.

Dans le même esprit, mais sur un sujet et avec une méthodologie différents, Maryline Coquidé, qui interroge des professeurs de biologie enseignant l'option expérimentale en Première scientifique, relève une non-différenciation entre les trois registres de familiarisation pratique, investigation empirique et élaboration théorique. Ceci conduit à la mise en œuvre d'une démarche linéaire fortement guidée par l'enseignant, qui laisse peu de place à l'exploration et à la construction, par les élèves, d'une problématique.

Une innovation curriculaire ne suffit donc pas à transformer les pratiques habituelles. La question de la transformation des pratiques apparaît, en effet, de toute première importance car elle n'est possible que si les professeurs effectuent un profond changement de point de vue relatif au métier d'enseignant, au rôle de l'élève dans l'apprentissage et au statut de l'erreur. Et ce changement de point de vue, qui revêt un caractère paradigmatique, semble très difficile à réaliser par les personnes elles-mêmes. Anne Vérin s'en est entretenue avec des professeurs convaincus qui étaient volontaires pour expérimenter dans leur classe des séquences d'enseignement résolument constructivistes et cela dans le cadre d'une recherche en didactique de la biologie. Elle analyse leurs difficultés à transformer un *habitus* régi par une coutume qui fixe les rôles des uns et des autres, leur tendance à réinterpréter dans le cadre ancien des pratiques nouvelles qui leur étaient demandées dans l'expérimentation et les modalités d'appréhension des tensions constitutives au projet lui-même.

Analyse de projets de séquences d'enseignement

En fait, il semble qu'une des principales difficultés que rencontrent les enseignants sur le terrain réside dans la mise en application de démarches réellement constructivistes. C'est ce que montre l'étude réalisée par Dimitris Koliopoulos et Konstantinos Ravanis qui ont demandé à vingt professeurs en formation de concevoir un enseignement de l'énergie. Une typologie mise au point par des didacticiens et proposée comme outil d'analyse des projets d'enseignement facilite la confrontation de leurs productions. Elle permet de leur faire prendre conscience de leurs pratiques habituelles, en particulier par rapport aux deux axes définis, celui de la cohérence conceptuelle et celui de la prise en compte des obstacles des élèves.

Le poids de la coutume et des habitudes, les jeux de contraintes jouent probablement un rôle déterminant dans la conception et la mise en œuvre des activités d'enseigne-

les futurs
professeurs sont
plus centrés
sur le contenu,
les professeurs
confirmés
sur l'élève

ment-apprentissage. Onno de Jong, aux Pays-Bas, analyse et compare des séquences sur la combustion produites par des professeurs confirmés et par de futurs professeurs en formation, ainsi que leurs commentaires relatifs à ce travail et recueillis lors d'entretiens individuels. Il montre en quoi les représentations de l'enseignement et du métier sont différentes dans ces deux populations. Et si nous retrouvons, là-bas des similitudes profondes avec ce que nous connaissons chez nous (centration des futurs professeurs sur le sujet à traiter et sur eux-mêmes, mise en œuvre par les professeurs confirmés d'une démarche de "découverte guidée"), des différences apparaissent dans la mesure où les professeurs confirmés semblent attacher, dans leurs pratiques, une importance plus grande que chez nous au développement personnel des enfants, à leurs représentations initiales, à leur expérience quotidienne.

Une théorie de l'épistémologie scolaire

quatre types
d'épistémologie
scolaire qui
s'actualisent
de façon
différenciée selon
les contextes

Le numéro se conclut par l'article de Rafael Porlán *et al.* très documenté et très riche. S'appuyant sur plusieurs recherches conduites par l'équipe IRES, il jette les bases d'une théorie de l'épistémologie scolaire des enseignants. Quatre axes sont retenus : images de la science et des connaissances scolaires, modèles d'enseignement, représentations des processus d'apprentissage, conception de l'organisation des activités. La combinaison des positions sur ces axes détermine quatre types d'épistémologie scolaire cohérents, qui peuvent servir de référence pour comprendre les configurations de réponses variées et les comparer. Ces analyses donnent matière à réflexion sur la complexité et la multidimensionnalité du problème.

Guy ROBARDET

L.I.D.S.E. Université Joseph Fourier,
Grenoble
IUFM de Grenoble

Anne VÉRIN

Unité de recherche en didactique des
sciences expérimentales, INRP
IUFM d'Amiens

LA SCIENCE ET LES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES : POINTS DE VUE DE FUTURS ENSEIGNANTS

Ezio Roletto

L'idée de science chez des enseignants en formation a été explorée à l'aide de questionnaires. Les aspects concernés sont la nature et le statut des connaissances scientifiques, les démarches pour les atteindre, les critères de démarcation entre science et non-science, les relations entre science et vérité, etc. Une certaine hétérogénéité des points de vue est retrouvée selon les aspects traités. La majorité des sujets partage un point de vue empiriste, quant à la nature des connaissances scientifiques ; réaliste, quant à leurs objets ; inductiviste, quant à leurs démarches ; relativiste et contextualiste, quant à leur statut. En outre, les sujets accordent très peu d'importance à la dimension sociale des sciences et aux aspects créatifs de l'activité des scientifiques.

Les résultats sont discutés du point de vue aussi bien de l'enseignement des disciplines scientifiques que de la formation des enseignants.

Pendant les vingt dernières années, les chercheurs en didactique se sont beaucoup intéressés au problème de rendre efficace l'enseignement des sciences expérimentales. Les approches proposées découlent d'une conception "constructiviste" de l'apprentissage, d'après laquelle les connaissances sont le résultat d'opérations cognitives d'un sujet intellectuellement actif. L'apprenant ne reproduit pas simplement ce qu'on lui apprend, mais il construit des signifiés ; il n'est pas une "cire molle" sur laquelle l'enseignant peut laisser la marque du savoir, tout sujet étant porteur de conceptions lui permettant de donner du sens aux événements de son expérience quotidienne.

Du point de vue pratique, le constructivisme a suggéré un véritable changement de l'enseignement traditionnel des sciences expérimentales, en proposant une nouvelle conception de l'apprenant et des activités de la classe. Le premier est placé dans la situation de coacteur d'un processus de construction de connaissances au sein d'une communauté d'apprenants engagés dans la résolution de problèmes où l'enseignant joue le rôle d'expert. La classe est vue comme un laboratoire de recherche permettant aux apprenants de mettre en œuvre les démarches des scientifiques dans la construction de connaissances. L'apprentissage se produit à la suite d'une "déformation intellectuelle" où interagissent informations et structure mentale, cette déformation débouchant sur une mutation radicale de la structure mentale et

un modèle
d'apprentissage

donc sur une transformation du système de pensée de l'apprenant.

caractériser
l'idée de
science...

Ce modèle d'apprentissage postule une stratégie pédagogique dont l'adoption demande, de la part de l'enseignant, la prise en compte d'options méthodologiques et épistémologiques cohérentes. Du côté de l'épistémologie, il faut se demander si les points de vue des futurs enseignants à l'égard de la science sont en accord avec les conceptions du savoir scientifique partagées par les didacticiens qui ont proposé ces approches. Il s'agit d'un problème majeur car l'éducation aux sciences demande non seulement l'acquisition des connaissances scientifiques mais aussi l'appropriation des modes de pensée des scientifiques.

...de futurs
enseignants

Cette recherche* vise donc à caractériser l'idée de science auprès de deux populations de futurs enseignants français jusqu'à présent peu étudiées de ce point de vue. Les idées de science chez les futurs enseignants ont été étudiées par un certain nombre de chercheurs (1-8) ; parmi ces recherches deux seulement (3, 7), à notre connaissance, ont pour objet de futurs enseignants de l'école primaire. D'autres recherches ont été menées afin d'étudier l'idée de science chez les élèves et les enseignants en activité ; une mise au point a été publiée par Lederman (9) en 1992.

1. LA PROBLÉMATIQUE

un lien entre
pratiques
pédagogiques
et conceptions
de la science

Cette recherche se situe dans le contexte de la formation des futurs enseignants en sciences expérimentales, formation qui devrait prendre en compte les variables significatives de leur métier. Parmi ces variables on trouve non seulement les contenus et les stratégies pédagogiques, mais aussi les idées personnelles et souvent implicites des enseignants à propos de la science, de ses fondements, de son origine, de ses relations avec la vérité, etc. Les recherches menées par différents chercheurs (5, 8, 10-12) ont montré, comme l'écrit Hashweh, que : *"The effects of science teachers'epistemological beliefs in teaching seem to be strong and stable across teachers' field of expertise in science, the educational level at which they teach, or the culture to which they belong"*. La façon d'enseigner les sciences dépendrait donc de la conception que les enseignants ont du savoir scientifique, quels que soient le domaine scientifique, le niveau de scolarité ou le contexte culturel.

L'objectif de ce travail est donc de recueillir les points de vue de futurs enseignants à l'égard de la science en les mettant en relation avec quelques éléments d'épistémologie de

* Cet article recouvre en partie la thèse de doctorat en sciences de l'éducation (option : didactique des disciplines scientifiques) préparée par E. ROLETTO sous la direction de Mme Danièle CROS à l'Université Montpellier II.

sciences. Il s'agit donc d'étudier, d'analyser un facteur intrinsèque au processus d'éducation aux sciences, et par conséquent de recueillir des informations nouvelles pouvant nous aider à mieux réfléchir sur quelques aspects concernant aussi bien l'enseignement des sciences que la formation initiale et continue des enseignants.

2. ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES

2.1. Les populations visées

Cette recherche concerne les conceptions sur la science de futurs enseignants de l'école primaire et secondaire qui auront tous la tâche d'éduquer les jeunes aux sciences. Ces conceptions ont été étudiées auprès d'élèves professeurs des écoles (PE) et des lycées et collèges (PLC). Plus précisément, pour les PE : 120 sujets en deuxième année de formation ; pour les PLC : 171 sujets en première année de formation. Tous les PLC sont titulaires d'une licence de physique, de chimie ou de sciences physiques. Les sujets appartenaient aux IUFM de Bordeaux, Marseille/Aix-en-Provence, Montpellier, Perpignan et au CFP de Marseille. Le choix des populations est expliqué par leur formation initiale différente, les PE étant généralement de formation non-scientifique contrairement aux PLC.

2.2. L'instrument

des Q.C.M....

Une partie des recherches menées afin de caractériser l'idée de science chez les élèves et les enseignants, en formation ou en activité, utilise des répertoires d'énoncés et demande aux sujets d'exprimer leur accord ou bien leur désaccord (1, 2, 13-15). Il s'agit d'une approche quantitative qui permet de chiffrer les résultats et de toucher beaucoup de sujets à la fois. Face à ces deux avantages, on trouve un inconvénient majeur : ces répertoires sont fondés sur le postulat implicite qu'aussi bien le sujet questionné que le chercheur ont la même perception des énoncés. Cependant, face à un énoncé que le chercheur a jugé "objectif", c'est au sujet questionné qu'il revient de construire sa propre perception.

... aux entretiens

D'autres chercheurs ont utilisé une approche semi-quantitative ou bien qualitative avec des questionnaires à questions ouvertes (3, 4, 7) ou avec des entretiens individuels (6). Dans les deux cas, il appartient au chercheur de catégoriser les réponses des sujets, ce qui devrait permettre une compréhension plus profonde et plus contextuelle de l'idée de science partagée par les sujets questionnés.

Pour cette recherche nous avons adopté une approche semi-quantitative en utilisant un questionnaire préparé à partir de l'analyse d'une série d'entretiens avec des enseignants en activité. Le questionnaire a été conçu de manière à per-

mettre aux sujets d'exprimer leurs points de vue à l'égard de certains thèmes fondamentaux de l'épistémologie et les raisons pour lesquelles ils soutiennent leurs opinions. Ces opinions sont repérables dans les écrits des sujets à deux conditions : leur laisser une grande liberté d'expression, aborder la même problématique sous des formes différentes. La première condition a été assurée aux sujets en leur posant surtout des questions ouvertes pour lesquelles ils devaient élaborer des réponses originales, en utilisant les termes les plus significatifs à leurs yeux. Lorsque les sujets avaient à choisir entre plusieurs propositions, on leur demandait de justifier leur choix. Ainsi l'argumentation constitue la partie prépondérante de la réponse, le choix entre les options jouant plutôt le rôle de "déclencheur" de la justification. La deuxième condition a été assurée en posant aux sujets des questions qui se recoupent et d'autres qui s'imbriquent, nous permettant ainsi d'aborder les mêmes problèmes par différents canaux.

Les questions posées devraient donc permettre à chaque sujet de préciser, à l'aide de son propre vocabulaire et de son argumentation, ses points de vue à l'égard des thèmes abordés. Il est indéniable que les réponses des sujets nous donnent, dans la plupart des cas, des pensées ni achevées, ni objectives et que leur signification est loin d'être unique. Mais le fait de retrouver dans les réponses à des questions différentes des éléments communs autorise à donner une certaine interprétation de ces éléments et permet donc de tirer certaines conclusions.

2.3. L'analyse des données

Les réponses ont été analysées en utilisant la technique de l'analyse de contenu (16), permettant de passer d'une information purement descriptive à des inférences et à des interprétations. Cette analyse a été menée en plusieurs étapes. Tout d'abord, deux chercheurs ont lu une partie des réponses à une question donnée. Pour chaque réponse on a repéré une ou plusieurs unités de classification, constituées par une phrase ou une portion de phrase possédant un sens complet en elle-même, sens qui est souvent précisé par référence aux réponses à d'autres questions, c'est-à-dire au contexte constitué par l'ensemble des informations recueillies. Les unités de classification sont par la suite, au sein de chaque question, réunies en catégories, issues à la fois des réponses des sujets et des catégories mentales du chercheur ; par conséquent, les énoncés placés dans une catégorie sont homogènes.

Nous procédons ensuite à la quantification des informations ainsi dégagées, l'unité de mesure étant le pourcentage d'énoncés apparaissant dans chacune des catégories, ces pourcentages étant toujours rapportés au nombre des futurs enseignants questionnés.

2.4. Un cadre interprétatif

À cause du type de questionnement adopté, c'est au chercheur que revient la responsabilité d'interpréter les réponses des sujets ; c'est pourquoi nous précisons quelques fondements épistémologiques que nous utilisons comme grille de lecture des opinions des futurs enseignants. Nous adhérons à l'idée de science partagée par de nombreux épistémologues et sociologues contemporains (Kuhn, 1962 ; Popper, 1963 ; Chalmers, 1982 ; Latour, 1987) qui ont rejeté l'interprétation empiriste, réaliste au sens étroit et positiviste de la science.

la science
comme
processus
de construction...

Selon ces derniers, la science est une entreprise sociale dont le fondement est le consensus organisé et dont le but est d'établir des généralisations applicables au monde réel, produisant un savoir historiquement déterminé et donc relatif. Les activités scientifiques ne se réduisent pas à l'observation passive, car la science ne se réduit pas à l'ensemble des faits connus à propos du monde. Au contraire, il s'agit d'un processus tenant à la fois de la logique et de la créativité, fondé sur l'innovation conceptuelle, procédant à travers incertitudes et échecs. Ce processus fait intervenir activement le sujet connaissant qui doit s'engager dans une stratégie de construction de connaissances qui ne peut pas être codifiée en une série de recettes capables d'amener n'importe qui à produire des idées.

Les connaissances scientifiques ne découlent pas de données empiriques obtenues par une observation attentive ou par des techniques poussées d'investigation ; elles ne sont pas non plus tirées par déduction rigoureuse de notions de base intuitives ou de catégories *a priori* de l'entendement, intangibles et immuables. La pensée scientifique ne trouve sa source ni uniquement dans l'observation, comme l'affirment les empiristes, ni uniquement dans la raison, comme le soutiennent les rationalistes classiques.

... de modèles
explicatifs

Dans les sciences, les données ne sont pas séparables des théories. Les faits scientifiques ne sont tels qu'à la lumière d'interprétations théoriques et les faits mêmes doivent être reconstruits à la lumière d'une interprétation. Le réel, tel qu'il est conçu par les scientifiques, est le produit social d'un processus cognitif de l'esprit en interaction avec des objets observables qu'on tente d'interpréter. La science ne décrit pas une réalité immuable, de même qu'elle ne tend pas à la vérité ultime de cette même réalité : le réel réside dans les modèles explicatifs construits par l'esprit humain dans son activité rationnelle d'étude et de compréhension du monde.

Il n'existe point des critères ou des normes universels et anhistoriques permettant d'établir qu'une connaissance est scientifique, car les critères de scientificité sont historiquement déterminés : les connaissances scientifiques ne sont ni objectives, ni subjectives, mais *inter-subjectives*. Par consé-

quent, l'idée que la science progresse en retenant les idées justes et en écartant les fausses n'est pas soutenable.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Nous avons posé aux futurs enseignants des questions à l'égard de la nature de la science, de l'élaboration des connaissances scientifiques, de leurs caractéristiques, des théories scientifiques et de leur relation avec les hypothèses, de la relation entre science et vérité. Si les deux premières questions sont habituelles dans ce genre d'enquêtes, les autres, au contraire, touchent à des problèmes rarement abordés.

une démarche
de réflexion

Le questionnaire a été conçu de manière à induire une démarche de réflexion : à partir d'une question très générale (*D'après vous, qu'est-ce que la science ?*) qui permet à tout un chacun de définir la science en fonction de l'aspect qui lui semble le plus important, on passe à des questions plus ponctuelles qui amènent les sujets à réfléchir, à argumenter d'une façon plus précise et donc à nuancer.

3.1. Qu'est-ce que la science ?

Les réponses données à la première question ont permis de classer les points de vue des répondants en trois catégories :

- la science comme ensemble de connaissances ;
- la science comme étude de la réalité et explication des phénomènes ;
- la science comme démarche.

• **La science comme ensemble de connaissances**

Pour 51 % des sujets PE et 37 % des sujets PLC, la science est un ensemble de connaissances et/ou de disciplines :

"La science est l'ensemble des savoirs et connaissances des hommes." (PE 85)

la science :
un ensemble de
connaissances...

"La science est l'ensemble des connaissances que nous pouvons avoir sur le monde qui nous entoure." (PLC 35)

Certains sujets indiquent des domaines particuliers : les sciences expérimentales (physique, chimie, biologie) et les mathématiques, mais d'autres ne posent pas de limites aux domaines des sciences :

"La science est une discipline très vaste qui englobe les mathématiques, la physique, la chimie, la biologie, la philosophie, la psychologie." (PE 92)

• **La science comme étude de la réalité**

Pour 36 % des sujets PE et 39 % des sujets PLC, la science est l'étude de la nature, de la réalité, des phénomènes afin de les expliquer :

... issues de
l'étude du réel...

"La science est un domaine de recherche dont le but est d'expliquer une réalité donnée. Toute explication du réel qui ne se fonde pas sur des paramètres observables, pouvant être précisément définis et non subjectifs, n'est pas une science." (PE 75)

"La science c'est l'étude des phénomènes naturels." (PLC 33)

Parmi ces sujets on en trouve un certain nombre qui précisent les traits saillants des connaissances scientifiques, jugées, tour à tour, vraies, objectives, rationnelles, concrètes, en évolution, etc. :

"Toute science est concrète et peut être prouvée." (PE 15)

"La science est une connaissance non universelle qui subit une certaine évolution au cours des années." (PLC 20)

L'idée que la science cherche à connaître la réalité est, du moins partiellement, acceptable. L'idée des philosophies spéculatives traditionnelles que la science puisse saisir une réalité immuable sous-jacente à toute expérience humaine a été rejetée par la plupart des épistémologues contemporains. Il reste alors deux versions de réalité, l'une forte et l'autre faible. D'après la version forte, il existe une correspondance entre connaissance scientifique et réalité : le savoir scientifique donne une description des systèmes réels tels qu'ils sont. D'après la version faible, le savoir scientifique ne vise pas à décrire la réalité telle qu'elle est, mais à donner de cette réalité une description qui lui est applicable à un degré plus ou moins élevé. Le problème de la relation entre science et réalité est abordé dans la question concernant l'objectivité des connaissances scientifiques.

• **La science comme démarche**

Un peu plus d'un tiers des sujets, 39 % des PE et 37 % des PLC, rappellent dans leurs réponses la démarche des scientifiques :

"La science se base sur l'observation et l'expérimentation." (PE 42)

"La science est quelque chose de rationnel. Il est possible de démontrer les hypothèses que l'on affirme. Dans notre niveau de connaissance nul doute n'est possible." (PE 114)

"La science n'est que l'observation et l'analyse, à travers des faits expérimentaux, des phénomènes environnants." (PCL 90)

"La science est une connaissance basée sur une certaine logique scientifique. On a fait une hypothèse, on a essayé de faire des expériences essayant de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse et après on élabore une théorie." (PLC 20)

... par une
démarche
logique
et rigoureuse

Dans les réponses on trouve, d'une part, l'idée que l'observation et l'expérience sont les fondements des connaissances scientifiques, d'autre part, l'idée que l'élaboration des connaissances scientifiques se déroule d'une façon logique et rigoureuse, permettant d'atteindre des vérités absolues. C'est dans la reconstitution *a posteriori* du déroulement de leurs recherches que les chercheurs mettent en exergue l'aspect rigoureux de leur travail. C'est aussi dans

l'enseignement que ces deux aspects sont privilégiés, au détriment d'un esprit scientifique comportant doute méthodique et réflexion critique.

Les idées des sujets à l'égard de la démarche d'élaboration des connaissances scientifiques sont précisées dans les réponses données à deux autres questions.

Quelques rares sujets font appel à l'idée de science en tant que construction spéculative :

"La science est un ensemble de savoirs... construits grâce à une interrelation entre le raisonnement et le réel (l'expérience). La science permet d'expliquer le monde et d'agir sur le monde, sur le réel tel qu'on se l'est construit." (PE 50)

"La science est une tentative d'exploration rationnelle du réel. "Exploration" car la science s'occupe des rapports du réel avec le savoir, un problème de l'ordre du savoir devant être résolu. "Rationnelle" dans le sens où la science s'efforce de fonder ses explications sur des critères objectifs. "Tentative" car ce n'est pas toujours possible d'expliquer, de résoudre certains problèmes posés par le réel." (PE 72)

"La science est une modélisation théorique de la réalité." (PE 106)

Il est intéressant de remarquer qu'il s'agit de sujets PE, n'ayant pas une formation en sciences expérimentales mais en philosophie.

3.2. L'élaboration de connaissances scientifiques

Les idées des futurs enseignants sur ce sujet ont été explorées par deux questions.

- **Une question ouverte**

de l'observation
à la théorie...

En répondant à la question : *"D'après vous, comment se forme et se développe la connaissance scientifique ?"*, 47 % des sujets PE et 65 % des sujets PLC font appel à des activités d'observation et/ou d'expérimentation :

"La connaissance scientifique se forme par des expériences scientifiques ; à partir de ces expériences vont être élaborées des théories qui seront une généralisation de l'expérience." (PE 96)

"Au départ on ne sait rien et on observe les choses. On obtient alors une multitude d'informations dont on peut déduire des relations théoriques." (PLC 33)

41 % des sujets PE et 34 % des sujets PLC font appel à une démarche ou méthode comme moyen pour aboutir à des connaissances scientifiques. La plupart de ces sujets précisent que cette démarche est la mise en œuvre linéaire d'une série d'activités qui amènent, à partir de l'observation d'un fait, à l'émission d'hypothèses, à l'expérimentation et enfin à la production de principes généraux (lois et théories) :

"La connaissance scientifique se forme et se développe par une progression basée principalement sur ces phases - observation, hypothèses, expérimentation, résultat obtenu, inter-

prétation, conclusions – que l'on tire de ces expériences et connaissances ainsi acquises. La connaissance scientifique s'acquiert lorsque l'on met en place une démarche scientifique contenant ces différentes étapes." (PE 31)

"En premier lieu, on observe les phénomènes environnants. Ensuite des scientifiques émettent des hypothèses qu'ils cherchent à vérifier par l'expérience. Souvent, de ces expériences, les scientifiques voient leurs hypothèses justifiées et même améliorées. Si ce n'est pas le cas, ils tirent profit de ces expériences en émettant de nouvelles hypothèses qui conduiront à une élaboration de connaissances scientifiques." (PLC 143)

... par la
démarche
OHERIC

Ces sujets font appel à une démarche fondée sur l'observation, l'émission d'hypothèse et l'expérimentation, dont les étapes sont bien précises, prédéterminées, résumées par André Giordan (16), pour en signaler les limites, dans l'acronyme OHERIC (Observation - Hypothèse - Expérimentation - Résultats - Interprétation - Conclusion). Comme l'écrit un sujet :

"La science repose sur une certaine démarche (démarche OHERIC). Toute étude de phénomènes n'est donc pas scientifique. Elle doit suivre cette démarche pour pouvoir s'en prévaloir." (PE 54)

• **Choix entre deux textes**

Avec cette question, nous avons proposé aux sujets deux textes se rapportant à deux conceptions sur la formation du savoir scientifique :

I) *Quand on recourt à la méthode scientifique, la démarche est la suivante : en premier lieu, tous les faits sont observés et enregistrés, sans sélection ni évaluation a priori de leur importance relative. En second lieu, les faits observés et enregistrés sont analysés, comparés et classés, sans hypothèses ni postulats autres que ceux qu'implique nécessairement la logique de la pensée. En troisième lieu, de cette analyse des faits, sont tirés par induction des énoncés généraux affirmant des relations de classification ou de causalité entre ces faits. Quatrièmement, les recherches ultérieures sont déductives tout autant qu'inductives, et utilisent les inférences tirées d'énoncés généraux antérieurement établis.*

II) *Les scientifiques ne se limitent pas à observer la réalité, mais ils l'interrogent au moyen d'expériences dont la mise en place n'est possible qu'à partir d'une hypothèse fondée sur une théorie du phénomène concerné. Autrement dit, les scientifiques élaborent, inventent des hypothèses ou des théories qui, tout en étant souvent en opposition avec la réalité empirique de l'expérience commune, sont cependant en mesure d'en expliquer quelques aspects.*

des conceptions
opposées
de la démarche
scientifique...

Le premier (17), est une synthèse de la démarche inductive stricte ou naïve, qui devrait amener à des principes généraux à partir d'une série plus ou moins importante d'observations. Dans le second, est affirmée la primauté de la théorie sur les faits.

En répondant à cette question, 10 % des PE et 15 % des PLC se disent d'accord avec le premier texte :

"Dans le texte n° 2, les expériences sont faites en fonction de la théorie. L'expérience est expliquée par la théorie. L'expérience permet de vérifier la théorie, mais il ne faut pas bâtir une expérience qui on le sait d'avance vérifie la théorie." (PLC 21)

36 % des PE et 20 % des PLC se disent d'accord avec le deuxième texte. Une partie restreinte de ces sujets partagent ses fondements épistémologiques :

"Établir un modèle (pour expliquer un phénomène) puis le comparer à la réalité grâce à des expériences est, je pense, un meilleur moyen pour mieux comprendre la nature. En effet, la connaissance scientifique se développe plus par la recherche, l'élaboration et l'invention de théories que l'on vérifie par des expériences, l'infirmité ou la confirmation de ces théories faisant progresser la science." (PLC 120)

Mais le plus souvent le choix du second texte est justifié par des raisons qui renvoient à une conception empiriste de la science, comme le montre la réponse suivante :

"Le premier texte correspondrait à la mise en place d'une théorie scientifique. Le deuxième texte relaterait la démarche scientifique visant à réfuter une théorie." (PE 31)

45 % des sujets PE et 58 % des sujets PLC se disent d'accord avec les deux textes. Ce point de vue est justifié par différentes raisons, mais pour la plupart des sujets ces deux textes ne se contredisent pas ; au contraire, ils sont perçus comme complémentaires :

"Les deux textes se complètent dans la mesure où ils évoquent les différentes étapes de la démarche scientifique (observation, analyse, hypothèse, classement, etc.)." (PE 19)

"Il y a bien observation des faits et toute hypothèse est tirée de l'observation et non inventée. Il faut remettre en question la réalité "empirique" de l'expérience et rester suffisamment objectif pour ne pas échafauder toute une théorie qui démontrerait que tout notre savoir est basé sur du "faux"." (PLC 121)

"Ces deux méthodes se complètent. Le travail scientifique est d'abord l'observation de la réalité. Après cette observation, on classe les résultats communs. À partir de ces faits, on tire des conclusions (une théorie). Il faut ensuite d'autres expériences pour arriver à montrer la théorie." (PLC 144)

On trouve donc une proportion élevée de sujets qui ne se rendent pas compte du contenu antithétique des deux textes, probablement puisqu'ils les ont interprétés d'après le modèle de démarche expérimentale qu'ils partagent, c'est-à-dire le modèle OHERIC. C'est ainsi qu'ils ont repéré, dans le premier texte, la description du parcours qui amène des observations aux principes généraux et, dans le second, le procédé de vérification, de preuve et validation de ces mêmes principes généraux.

En conclusion on peut affirmer, à la suite de l'analyse des réponses données à ces deux questions, que la grande majo-

...jugées
complémentaires

contenu
antithétique
mal perçu

rité des sujets pensent que le savoir scientifique se forme et se développe grâce, d'une part, à des activités d'observation et d'expérimentation qui, en mettant des données concrètes à la disposition des scientifiques, leur permettraient d'inférer des principes généraux ; d'autre part, à l'adoption d'une démarche spécifique, fondée sur des activités d'observation et d'expérimentation, valide en tout temps et en tout lieu. Donc, l'observation et l'expérimentation sont jugées, par la plupart des sujets, comme des moments fondamentaux de l'activité des scientifiques car ils pensent que les connaissances scientifiques sont tirées des faits, elles sont des évidences empiriques : le savoir scientifique semble être une réalité ontologique, ayant une existence en dehors du sujet connaissant qui peut y avoir accès par le biais de ses sens.

3.3. La scientificité des connaissances

Ce problème a été abordé dans deux questions :

I) Y a-t-il différence entre connaissance scientifique et connaissance de sens commun ?

II) Y a-t-il des caractéristiques particulières qui différencient la connaissance scientifique des autres formes de connaissance ?

Une minorité de sujets, environ 10 %, affirment qu'il n'y a aucune différence entre les différentes formes de connaissance :

"Je ne pense pas qu'il y ait des critères qui permettent de dire exactement ce qui est scientifique ou ce qui ne l'est pas car il est difficile de dire ce qu'est la science en général." (PLC 78)

Environ les trois quarts des sujets pensent que la connaissance scientifique a des caractéristiques particulières et expliquent la scientificité des connaissances par des arguments empiristes qui renvoient :

- aux faits, jugés le fondement de ces connaissances :

"Une connaissance est scientifique si elle est basée sur des faits objectifs et vérifiables." (PE 76)

"La connaissance scientifique est constituée de faits qui existent et que l'on découvre." (PLC 76)

- à l'idée de preuve :

"La connaissance scientifique est une connaissance qui a été prouvée." (PE 96)

- à la démarche :

"Je suppose qu'il existe une procédure très finement établie que les scientifiques utilisent pour développer leurs recherches, les conduire jusqu'à des conclusions logiques, démontrables, vérifiables." (PE 61)

D'autres critères sont soutenus par une proportion très faible de sujets. Parmi ces critères on trouve le critère poppérien de réfutabilité des théories et le consensus entre scientifiques :

"Une connaissance est scientifique seulement si elle est réfutable (au contraire d'un dogme)." (PE 9)

les faits
et la démarche
comme critères
de scientificité

“Pour qu’une connaissance soit scientifique, il faut qu’elle soit admise et reconnue en tant que telle par la communauté des chercheurs.” (PLC 38)

La majorité des réponses renvoie à deux critères démarquant les connaissances scientifiques des autres formes de connaissance : d’une part, la vérification (ou la réfutation) par les faits qui constituent leur fondement concret, en assurent l’objectivité et permettent d’en prouver la vérité (ou la fausseté) ; d’autre part, la démarche universelle et anhistorique qui conduit n’importe qui à des connaissances scientifiques. La distinction entre les connaissances scientifiques et les autres connaissances est donc fondée sur des argumentations de nature empirique. Comme le dit un sujet :

“Les autres formes de connaissance (religieuse, artistique, etc.) résultent de notre vie, c’est-à-dire qu’on les crée. Elles relatent de l’histoire que nous avons provoquée. Mais la connaissance scientifique est sous l’influence de la nature, on n’a pas créé ce qu’elle contient.” (PLC 2)

3.4. La connaissance scientifique est-elle objective ?

À ce propos nous avons posé aux sujets une question ouverte : *La connaissance scientifique est-elle objective ou subjective ?*

À cette question, 35 % des sujets PE et 30 % des sujets PLC répondent en affirmant que les connaissances scientifiques sont objectives, car elles trouvent leur fondement dans les faits :

“La connaissance scientifique ne peut être fondée que sur des phénomènes réels. Les desiderata des scientifiques ne doivent pas influencer sur ce qui existe vraiment.” (PE 52)

“Les connaissances scientifiques sont objectives car elles sont basées sur des observations, des expériences ou des applications de phénomènes existant dans la nature.” (PLC 73)

À ce point de vue empiriste et réaliste s’opposent 40 % des sujets PE et 24 % des sujets PLC qui pensent que les connaissances scientifiques sont subjectives car les scientifiques ont des points de vue différents :

“La connaissance scientifique dépend de l’état des connaissances de l’homme au moment de la découverte. Elle dépend des représentations que l’homme se fait de l’Univers.” (PE 43)

D’après les argumentations de ces sujets, la connaissance scientifique est le reflet de la façon dont chaque scientifique perçoit la réalité. Pour d’autres, la science est élaborée dans le cadre du système de valeurs d’une société historiquement déterminée. Pour un petit nombre de sujets, enfin, la science est subjective car les connaissances scientifiques peuvent être réfutées, remises en question, démenties.

Pour 13 % des sujets PE et 16 % des sujets PLC les connaissances scientifiques sont à la fois objectives et subjectives.

l’objectivité
des faits...

... la subjectivité
du chercheur

Pour la majorité de ces sujets, elles sont objectives car fondées sur les faits, sur les résultats d'expérimentations et subjectives car elles dépendent du contexte historique et social et de la logique de chaque chercheur :

“Je pense qu'il y a une certaine dualité : cette dualité venant du fait que l'on essaie de comprendre le monde nous entourant (= objectif) à l'aide de notions ou de cheminements intellectuels (= subjectif).” (PLC 56)

dichotomie
difficile
à résoudre

Ces sujets semblent se rendre compte de la complexité de la question, même s'ils n'arrivent pas à résoudre la dichotomie entre l'objectivité du monde, objet de connaissance, et la subjectivité du chercheur.

En répondant à cette question, à peu près la moitié des sujets reconnaissent, d'une façon plus ou moins marquée, une certaine subjectivité aux connaissances scientifiques. Ils sembleraient donc en accord avec la plupart des épistémologues contemporains qui ont durement critiqué le postulat empiriste, d'après lequel la science disposerait d'un fondement d'observations objectives.

3.5. La relation entre connaissance scientifique et vérité

Le problème de la relation entre science et vérité a été abordé dans une question où on propose aux futurs enseignants le choix entre trois textes :

1) La science de même que d'autres formes de connaissance (commune, religieuse, poétique, etc.) dépend des mœurs, des conventions sociales, des idéologies ainsi que des convictions personnelles des scientifiques.

2) La science est en mesure d'acquérir des connaissances “objectives” qui sont pourtant relatives du moment qu'elles pourront, par la suite, être réfutées ou du moins modifiées.

3) Les connaissances scientifiques ne sont pas toutes relatives, la science étant en mesure d'atteindre des vérités absolues.

Environ 10 % des sujets PE et PLC sont d'accord avec le premier texte et justifient leur choix en affirmant que la science appartient à une époque, qu'elle est assujettie aux idéologies dominantes, voire au pouvoir :

“Le cadre extérieur influe sur le développement de la science, il l'oriente vers certaines voies.” (PLC 60)

Le texte n° 2 exprime un point de vue à la fois rationaliste et relativiste qui est partagé par environ 70 % des PE et des PLC qui justifient ce point de vue en évoquant surtout la nature évolutive de la science :

“La science évolue grâce à des changements ; constamment les théories sont remises en cause, c'est le progrès. Il n'y a pas de vérité absolue.” (PE 96)

la nature
évolutive des
connaissances
scientifiques

Les partisans de ce point de vue semblent donc partager l'idée de la plupart des épistémologues contemporains qui

avis majoritaire
conforme à
celui des
épistémologues

essaient de concilier, au sein de la science, la présence de quelques aspects conventionnels avec sa capacité de nous faire connaître une réalité non totalement réductible au sujet. À vrai dire, les raisons invoquées pour justifier cette conception sont, dans la plupart des cas, de simples constatations historiques du fait que les théories sont réfutables et réfutées, qu'elles sont en évolution continue voire même abandonnées au profit d'autres principes généraux plus performants.

Le texte n° 3 est l'option la moins choisie : 3 % des PE et 7 % des PCL.

L'idée de vérité a été longtemps au centre des préoccupations des philosophes et des scientifiques, toujours conçue comme éternelle, indéniable, absolue, essentielle. Cette notion d'une vérité absolue était nécessaire tant qu'on admettait l'esprit et la réalité comme des entités indépendantes et séparées. C'est une notion commune au réalisme naïf et au rationalisme classique. Mais l'idée de vérité a évolué et elle a perdu ces caractères essentialistes. La plupart des épistémologues sont désormais d'accord sur le fait qu'il n'existe pas et il ne peut pas exister un critère universel et général de vérité en science. Les connaissances scientifiques sont jugées vraies (relativement vraies) sur la base de raisons et critères différents et historiquement déterminés.

3.6. Théorie et hypothèse

Les problèmes de la théorie et de l'hypothèse ont été abordés dans deux questions :

- 1) *D'après vous, qu'est-ce qu'une théorie scientifique ?*
- 2) *D'après vous, y a-t-il différence entre hypothèse et théorie ?*

• Les théories scientifiques

48 % des PE et 30 % des PLC pensent que les théories scientifiques sont fondées sur des faits, des observations, des expérimentations :

"À partir d'un ensemble d'observations, il y a mise en place d'une théorie." (PE 91)

"Une théorie scientifique s'élabore à partir d'expériences. On étudie les résultats d'expériences et on les compare. Grâce aux points communs à des faits particuliers, on peut élaborer une théorie." (PLC 41)

des théories
scientifiques
issues des faits...

Pour ces sujets, la théorie scientifique est une synthèse *a posteriori* de l'ensemble des faits observés et analysés. Elle est donc un simple reflet des faits et ne contient rien de plus que les faits eux-mêmes. Il s'agit d'un point de vue empiriste qui postule la constante subordination de l'imagination aux données d'observation et/ou d'expérimentation.

Par contre, 25 % des PE et 20 % des PLC pensent que la théorie scientifique est une façon d'interpréter la réalité :

“Une théorie scientifique est un système, un modèle de pensée avancé, construit à un moment donné en réponse à un problème.” (PE 97)

“Une théorie scientifique est un modèle, un ensemble d'explications qui sont suggérées à l'avance par l'homme, qui ne correspondent pas, qui ne suivent pas forcément les phénomènes réels.” (PLC 126)

... aux
constructions
de l'esprit

Pour ces sujets, la théorie scientifique n'est pas une évidence empirique, mais une construction de l'esprit, un instrument cognitif par lequel les scientifiques essayent d'interpréter le réel, de lui donner du sens.

33 % des sujets PE et 15 % des sujets PLC sont d'avis que les théories scientifiques doivent être considérées comme provisoires, car elles peuvent être remises en cause à tout moment :

“La théorie est différente du dogme et peut donc évoluer et même être réfutée.” (PE 24)

“Une théorie scientifique n'est pas une vérité. Elle peut être ébranlée à tout moment.” (PLC 56)

On trouve néanmoins un nombre très réduit de sujets pour lesquels les théories scientifiques sont des vérités indéniables :

“Une théorie scientifique est quelque chose qui est toujours vrai, quoiqu'il arrive. Théorie scientifique = valeurs sûres.” (PLC 31)

• **La relation hypothèse - théorie**

En ce qui concerne la relation entre hypothèse et théorie, 15 % des PE et 10 % des PLC assignent aussi bien à la théorie qu'à l'hypothèse le statut de connaissance conjecturale :

“Une théorie reste fondamentalement une hypothèse explicative.” (PE 64)

“Toutes nos théories scientifiques ne sont encore que des hypothèses. Certaines seront fausses dans quelques décennies. De même, toute hypothèse est théorique...” (PLC 119)

La grande majorité des sujets (environ 80 %) distingue l'hypothèse de la théorie d'après deux critères :

- le critère *point de départ/point d'arrivée* de la démarche scientifique, en plaçant l'hypothèse au départ d'un parcours dont l'issue est la théorie ;
- le critère *conjecture/certitude*, en donnant à la théorie le statut de connaissance prouvée, fondée, vraie.

“L'hypothèse précède la théorie dans la démarche scientifique. C'est à partir d'hypothèses, soumises à expérimentation, que sera dégagée une théorie.” (PE 40)

“Une hypothèse est quelque chose que l'on suppose au départ et dont on n'est pas sûr de la validité. Une théorie est en principe élaborée sur des bases solides, elle est normalement vérifiée.” (PLC 102)

la science
commence par
une supposition
(hypothèse)...

La théorie est l'issue de la démarche expérimentale allant par étapes de l'observation aux principes généraux. D'après

... et s'achève
par une théorie
prouvée

ces sujets, l'expérimentateur n'est pas guidé par un cadre théorique cohérent lui permettant d'avancer des hypothèses en fonction des relations qu'on peut logiquement supposer entre les variables significatives du système étudié. La théorie étant l'issue des expérimentations, les hypothèses de départ ne peuvent que découler de l'inventaire empirique des facteurs susceptibles d'avoir une influence réelle sur le phénomène étudié. Il s'agit d'un point de vue qui occulte complètement le rôle de l'information théorique et réduit l'expérimentation à une série de tâtonnements successifs.

Pour une partie importante des sujets, la science est uniquement un processus de vérification qui commence par l'hypothèse, s'achève par la théorie et se développe à travers des activités expérimentales. La science trouve dans les faits les fondements d'une connaissance véritable, car ils sont considérés en tant que prémisses de conclusions véritables et en tant que démonstrations de découvertes indéniables. En d'autres mots, les faits sont là pour prouver que l'hypothèse est vraie et donc pour permettre d'aboutir à une théorie prouvée, fondée.

CONCLUSION

On peut ainsi résumer les résultats de cette recherche. Pour la majorité des futurs enseignants, la science est un ensemble de connaissances tirées de l'étude du monde qui nous entoure, issues d'une démarche expérimentale, logique et rigoureuse. Pour à peu près 60 % des PE et des PLC il s'agit de la méthode OHERIC (Observation - Hypothèse - Expérimentation - Résultats - Interprétation - Conclusion). Pour environ 80 % des PE et des PLC l'hypothèse précède la théorie, la dernière étant l'aboutissement d'un parcours qui amène d'une conjecture à une connaissance prouvée. Pour environ 75 % des futurs enseignants, les connaissances scientifiques se démarquent des autres formes de connaissance car elles sont fondées sur les faits et donc prouvées par les données sensibles, accessibles à l'observateur attentif. Par ailleurs, 50 % des PE et 40 % des PCL pensent que les connaissances scientifiques sont en quelque sorte subjectives car elles dépendent des points de vue des scientifiques. Enfin, 70 % des futurs enseignants pensent que la science ne peut qu'atteindre des vérités relatives.

Au sujet des méthodes utilisées pour parvenir aux connaissances scientifiques et des critères de scientificité des connaissances, la majorité des sujets sont porteurs de points de vue qui renvoient à une épistémologie empiriste (primauté des faits sur la théorie), réaliste naïve (les objets de la science existent dans le monde où ils sont découverts par les scientifiques) et positiviste (il existe une méthode universelle et anhistorique qui permet d'aboutir à des

connaissances scientifiques vérifiées, dont la véracité est prouvées : la méthode expérimentale OHERIC).

une
hétérogénéité
de points de vue

Mais ce point de vue empirico-réaliste est peu compatible avec d'autres idées manifestées par les mêmes sujets, telles que la véridicité relative et contextuelle des connaissances scientifiques et leur subjectivité, ou bien l'idée que les théories scientifiques ne sont qu'une façon d'interpréter la réalité et donc peuvent être ébranlées à tout moment. Une partie importante des sujets sont donc porteurs d'un mélange hétérogène, on pourrait dire un *patchwork* d'épistémologies, au sein duquel le statut des connaissances scientifiques n'est pas bien défini, car elles sont à la fois vraies, objectives, prouvées, subjectives et évolutives.

Cette étude permet donc de mettre en évidence un manque profond de culture en matière de réflexion sur l'élaboration du savoir scientifique, puisque une bonne partie des futurs enseignants interrogés sont porteurs d'un mélange non réfléchi et donc peu cohérent d'idées appartenant à différentes philosophies de la science. Les différences entre PCL, de formation scientifique, et PE, généralement de formation non-scientifique, sont minimales : c'est donc l'enseignement des sciences ou, pour mieux dire, l'éducation aux sciences qu'il faut mettre en question. Les sujets touchés ou, du moins, la plus grande partie d'entre eux, n'ont jamais eu une formation spécifique sur les thèmes qui sont au centre de cette recherche, et donc n'ont jamais eu l'occasion de réfléchir sur la nature de la science. Ils ont mené leurs études au sein d'institutions dont l'objectif est de pousser les élèves à apprendre des connaissances toutes prêtes plutôt que de développer la production de connaissances, en étouffant ainsi leur créativité. On ne demande aux élèves que d'exposer des résultats acquis, des connaissances vérifiées, prouvées, indiscutables. Le but de l'enseignement est de donner aux élèves des certitudes, en présentant les connaissances comme des évidences empiriques, et en évitant, autant que possible, de donner l'impression qu'on y parvient par des détours, des contradictions et des négociations. On risque ainsi de laisser croire aux élèves d'une part, que la science est à même d'atteindre l'essence des choses, en établissant l'équivalence science/vérité ; d'autre part, que les scientifiques sont les seuls parmi les êtres humains à produire des connaissances auxquelles on peut faire confiance.

l'enseignement
des sciences
questionné

Les cours, imprégnés par le réalisme naïf et l'empirisme, *"consistent généralement en des activités centrées sur la découverte de lois que l'on prétend induire à partir des faits de l'expérience et des phénomènes observés... La démarche utilisée est pratiquement toujours fortement imprégnée d'inductivisme : le milieu, le matériel, les manipulations effectuées sont choisis et organisés avec comme fonction la mise en évidence de la loi"* (8). En outre, la plupart des manuels pour l'apprentissage des sciences non seulement présentent

une solution
envisagée

une image idéalisée de la science qui exclut toute controverse et toute polémique, mais donnent le plus souvent une image dépassée de la démarche des scientifiques.

C'est à la formation des futurs enseignants qu'il appartient de résoudre la contradiction qui est au sein de leur conception de la science. Quelques chercheurs (6,19) se sont posé la question de la stratégie pour y parvenir et leurs réponses vont dans le même sens, ils pensent qu'une meilleure connaissance de l'histoire des sciences pourrait faciliter la tâche. Comme l'écrit J.-L. Martinand (19), "il y a une place pour l'épistémologie. La carence principale des futurs enseignants n'est pas en effet leur niveau universitaire insuffisant dans les disciplines : c'est que leurs études universitaires permettent peu de réel contact avec les pratiques dans la recherche, l'industrie, la culture. La mission de l'histoire des sciences et de l'épistémologie est donc de nourrir la réflexion sur ces pratiques, leurs évolutions et leurs fondements".

Ezio ROLETTO

Groupe de dictatque de la chimie,
Département de Chimie Analytique,
Université de Turin, Italie

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Madame Anne VÉRIN grâce à qui j'ai pu mettre au point cet article.

NOTES

- (1) CAREY, R.L., STAUSS, N.G. (1968). "An analysis of the understanding of the nature of science by prospective secondary science teachers". *Science Education*, 52, 358-363.
- (2) ANDERSEN, H.O., HARTY, H., SAMUEL, K.V. (1986). "Nature of science, 1969 and 1984 : perspectives of preservice secondary science teachers". *School Science and Mathematics*, 86, 43-50.
- (3) BLOOM, J.W. (1989). "Preservice elementary teachers' conceptions of science : science, theories and evolution". *International Journal of Science Education*, 11, 401-415.
- (4) AGUIRRE, J.-M., HAGGERTY, S.H., LINDER, C.J. (1990). "Student-teachers' conceptions of science, teaching and learning : a case study in preservice science education". *International Journal of Science Education*, 12, 381-390.
- (5) GALLAGHER, J.-J. (1990). "Prospective and Practising Secondary School Science Teachers' Knowledge and Beliefs about the Philosophy of Science". *Science Education*, 75, 121-133.
- (6) 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*, 2, 7-30.
- (7) ABELL, S., SMITH, D. (1994). "What is science ? : preservice elementary teachers' conceptions of the nature of science". *International Journal of Science Education*, 16, 475-487.
- (8) ROBARDET, G. (1994). "La formation des enseignants de sciences physiques et le mythe naturaliste". In *Actes du IVème séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques. Amiens, 16-18 octobre 1994* (pp. 4-22).

- (9) LEDERMAN, N. G. (1992). "Students' and teachers' conceptions of the nature of science : A review of the research". *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 331-359.
- (10) BRICKHOUSE, N.W. (1989). "The teaching of the philosophy of science in secondary classrooms : case studies of teachers' personal theories". *International Journal of Science Education*, 11, 437-449.
- (11) BRICKHOUSE, N. W. (1990). "Teachers' beliefs about the nature of science and their relationship to classroom practice". *Journal of Teacher Education*, 41, 53-62.
- (12) HASHWEH, M. Z. (1996). "Effects of teachers' epistemological beliefs in teaching". *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 47-63.
- (13) KIMBALL, M.E. (1967-1968). "Understanding the nature of science : a comparison of scientists and science teachers". *Journal of Research in Science Teaching*, 5, 110-120.
- (14) BILLEH, V.Y., HASAN, O.E. (1975). "Factors affecting teachers' gain in understanding the nature of science". *Journal of Research in Science Teaching*, 12, 209-219.
- (15) KOULAUDIS, V., OGBORN, J. (1989). "Philosophy of science : an empirical study of teachers' views". *International Journal of Science Education*, 11, 173-184.
- (16) GHIGLIONE, R., BEAUVOIS, J.-L., CHABROL, C., TROGNON, A. (1980). *Manuel d'analyse de contenu*. Paris : A. Colin.
- (17) GIORDAN, A. (1978). *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Paris : Centurion.
- (18) HEMPEL, C. (1966). *Philosophy of natural science*. Englewood Cliffs (New Jersey) Prentice Hall, 1966. Trad. franç. : *Éléments d'épistémologie* (1972). Paris : Armand Colin.
- (19) MARTINAND, J.-L. (1993). "Histoire et didactique de la physique et de la chimie : quelles relations ?". *Didaskalia*, 2, 89-99.

BIBLIOGRAPHIE

BUNGE, M. (1983). *Épistémologie*. Paris : Maloine.

CHALMERS, A. (1982). *What is that thing called science ? An assessment of the nature and status of science and its methods*. St Lucia : University of Queensland Press. Trad. franç. : *Qu'est-ce que la science ?* (1988). Paris : Éditions La Découverte.

CHALMERS, A. (1990). *Science and its fabrication*. Buckingham : Open University Press. Trad. franç. : *La fabrication de la science* (1991). Paris : Éditions La Découverte.

BLANCHÉ, R. (1967). *La science actuelle et le rationalisme*. Paris : PUF.

FEYERABEND, P. (1975). *Against method*. London : New Left Books. Trad. franç. : *Contre la méthode* (1979). Paris : Seuil.

GEYMONAT, L. (1985). *Lineamenti di filosofia della scienza*. Milano : Mondadori.

GIORELLO, G. (1994). *Introduzione alla filosofia della scienza*. Milano : Bompiani.

HAMBURGER, J., THOM, R. (1986). *La philosophie des sciences aujourd'hui*. Paris : Gauthier-Villars.

KUHN, T. (1962, 1970). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago : University of Chicago Press. Trad. franç. : *La Structure des Révolutions Scientifiques* (1972). Paris : Flammarion.

LATOUR, B. (1987). *Science in action*. Milton Keynes : Open University Press. Trad. franç. : *La science en action* (1989). Paris : Éditions La Découverte.

POPPER, K. R. (1963). *Conjectures and Refutations*. London : Routledge and Kegan Paul. Trad. franç. : *Conjectures et Réfutations* (1985). Paris : Payot.

ULLMO, J. (1969). *La pensée scientifique moderne*. Paris : Flammarion.

LA DIDACTIQUE DANS LA FORMATION DES PROFESSEURS DE SCIENCES PHYSIQUES FACE AUX REPRÉSENTATIONS SUR L'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

Guy Robardet

Dans quelle mesure les représentations des enseignants de sciences physiques sur la science, son enseignement et l'apprentissage des élèves font-elles obstacle aux approches que propose la didactique des sciences? Dans quelle mesure sont-elles susceptibles d'être attaquées par la formation donnée en IUFM? Pour tenter de répondre à ces questions, nous avons interrogé 57 professeurs de collèges et de lycées, 47 étudiants et 103 professeurs stagiaires répartis dans quatre IUFM dont les plans de formation font apparaître des caractéristiques institutionnelles différentes vis-à-vis des approches didactiques. Cette étude nous a permis d'identifier dans les populations étudiées des rapports à la didactique très différents associés à l'existence d'une représentation sociale dominante de type empirico-réaliste que nous avons qualifiée de naturaliste. Nous avons alors tenté d'étudier, le degré de résistance de cette représentation vis-à-vis de la didactique des sciences. L'étude montre que la représentation naturaliste, peu compatible avec les approches didactiques, ne semble pas se constituer en obstacle puissant. Il apparaît, au contraire, qu'elle présente une grande sensibilité vis-à-vis des choix explicites et implicites effectués au niveau des dispositifs institutionnels de formation.

1. UNE QUESTION QUI INTERROGE LA DIDACTIQUE EN FORMATION DES MAÎTRES

Le travail de recherche que nous nous proposons de présenter ici concerne la formation professionnelle des futurs professeurs de lycées et de collèges de sciences physiques. Il se propose d'apporter sa contribution à l'analyse des difficultés que rencontre l'introduction de la didactique des sciences physiques dans la formation initiale donnée dans les IUFM aux futurs enseignants. Des voix se sont, en effet, parfois élevées chez les professeurs, dans les sphères de la formation des maîtres, parmi les formateurs, les étudiants, les futurs enseignants, ou parmi les responsables institutionnels de l'éducation, pour exprimer des réticences vis-à-vis des approches didactiques. Celles-ci feraient, en effet, appel à des concepts trop difficiles à comprendre, elles seraient de ce fait peu applicables en classe ou bien nécessiteraient une

la didactique
rencontre
des difficultés
en formation
des maîtres

grande maîtrise et une longue expérience d'enseignement pour pouvoir être appréhendées de manière efficace. Ainsi, selon les opinions précédentes, il n'y aurait pas lieu d'accorder une place trop importante aux approches didactiques dans la formation initiale des maîtres.

l'enseignement
de la physique
se heurte
à des difficultés
conceptuelles
importantes

Dans le même temps, des études concernant l'enseignement des sciences physiques concluent sur les difficultés que rencontrerait celui-ci et qui seraient dues au fait que la physique est une discipline à la fois tributaire de la réalité qu'elle se propose d'étudier et fortement structurée, autour de concepts et de lois, sous forme de théories souvent très formalisées et rationalisées par la médiation du calcul mathématique. Cela au moins en ferait, selon certains, une science d'accès difficile pour les élèves et donc difficile à enseigner. Lors d'un colloque organisé par le Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (1), le problème de l'enseignement de la physique était évoqué ainsi : *"trop abstrait, subordonné à son outil mathématique, aux programmes désuets, coupé de la physique pratiquée quotidiennement et de ses applications technologiques"*. Différentes enquêtes (cf. Boy et Muxel, 1989 ; Boyer et Tiberghien, 1989) effectuées auprès de jeunes montrent que la science et les savants bénéficient d'un capital de confiance et d'intérêt chez les jeunes tandis que l'enseignement de physique et de chimie est loin de susciter chez eux le même enthousiasme. Dans une étude très argumentée des problèmes posés par l'enseignement de la physique, Michel Hulin (1992) prend acte des difficultés importantes rencontrées dans cet enseignement depuis toujours tant en France qu'à l'étranger. Il attribue essentiellement ces difficultés à la nature même de la discipline qui se prête peu à un exposé linéaire de ses concepts, qui suppose une grande maîtrise du langage mathématique, qui recourt généralement à des expériences compliquées et pas toujours probantes et qui doit s'affronter au vécu. *"Malheureusement le vécu en question est très bien vécu sans la physique, et la physique a énormément de mal à déloger toutes les représentations parfaitement fonctionnelles qui sont profondément ancrées dans l'esprit des élèves et luttent très victorieusement contre les efforts de leurs professeurs."* Ces représentations sont à la source de nombreuses difficultés conceptuelles, et constituent autant d'obstacles à la construction du savoir scientifique.

la didactique
a vocation
pour agir
sur ces difficultés

L'identification et la connaissance de ces difficultés ont constitué l'essentiel des recherches en didactique des sciences expérimentales de ces vingt dernières années. Les plus anciennes ont consisté à identifier chez les élèves les représentations cognitives (ou conceptions), relatives aux

(1) Colloque organisé par le Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et l'INRP les 17-18-19 janvier 1994 à Paris et intitulé : *Réformer l'enseignement scientifique. Histoire et problèmes actuels.*

différents domaines des sciences physiques, susceptibles de s'ériger en obstacles épistémologiques (Bachelard, 1938). Plus récemment, ont été étudiés les différents modes de raisonnements "naturels" ou "spontanés" (Viennot, 1996). On sait maintenant que la grande résistance des conceptions et des modes de raisonnements spontanés des élèves explique en grande partie la faible efficacité d'un enseignement qui les ignore au sens où il s'exerce sans que leur existence soit réellement prise en compte dans l'organisation et le déroulement des activités de la classe. C'est ainsi que les recherches en didactique des sciences s'orientent de plus en plus en direction de la construction et de l'expérimentation en classe de dispositifs d'enseignement, de modèles pédagogiques, susceptibles de déstabiliser les conceptions et de donner du sens aux connaissances construites par les élèves (2).

tels sont
les termes
d'un paradoxe

Il semble donc qu'il y ait quelque chose de paradoxal à vouloir écarter de la formation des enseignants les approches didactiques alors qu'elles visent précisément à s'attaquer aux difficultés que rencontre l'enseignement des sciences. Une hypothèse explicative de ce paradoxe nous a conduit à envisager que la didactique aurait à affronter, en formation des maîtres, des obstacles analogues à ceux que rencontrent les sciences dans l'enseignement et à poser la question suivante :

L'introduction des approches didactiques dans la formation des professeurs de sciences physiques rencontre-t-elle chez ceux-ci des représentations susceptibles de se constituer en obstacles? Si oui, quelle en est la nature? Quelle en est la résistance?

Dans l'affirmative, ces représentations sont-elles principalement enracinées dans les pratiques ou dans des modes de raisonnement spontanés des enseignants qui seraient étrangers à la didactique? Ou bien prennent-elles principalement racine dans des habitudes institutionnelles de formation, auquel cas, selon leur degré de résistance, elles devraient s'avérer sensibles aux choix explicites ou implicites des institutions de formation?

Notre travail a donc consisté, pour reprendre les termes de Chevallard (1992), à étudier dans quatre IUFM la nature et les particularités des rapports personnels et institutionnels à la didactique des sciences.

le rapport
institutionnel
à la didactique
dépend
des dispositifs
de formation

Notre hypothèse de recherche est que *le rapport institutionnel à la didactique dépend des IUFM et même, à l'intérieur de ceux-ci, des dispositifs de formation disciplinaire et des équipes de formateurs* en sciences qui n'accordent pas obligatoirement la même place, la même importance, le même statut, aux enseignements de didactique et ne lui réservent

(2) Cf. notamment les n^{os} 16 et 17 d'*Aster* sur les modèles pédagogiques, les n^{os} 24 et 25 sur le travail didactique des obstacles ainsi que de nombreux articles parus dans la revue *Didaskalia*.

pas les mêmes moyens. Nous voyons pour notre part quatre raisons pour soutenir cette hypothèse.

la dictatque est
une science
jeune

1. Il n'y a pas consensus sur le savoir à enseigner : on ne dispose pas, en didactique, d'un recul suffisant pour que des habitudes soient prises concernant celui-ci ; il n'est pas estampillé par une autorité supérieure ou un groupe d'experts qui en aurait fixé le contenu ; il ne semble pas y avoir de "modèle" de transposition didactique des savoirs de références. Ceci pourrait s'expliquer en particulier par le manque d'accord, évoqué précédemment, sur la pertinence de l'approche didactique en formation des maîtres. De plus, les institutions peuvent à juste titre considérer que les didactiques des différentes disciplines n'ont pas atteint, à l'heure actuelle, des états de développement comparables voire suffisants et fonder, par conséquent, leur plan de formation sur les savoirs et les habitudes "qui ont fait leurs preuves".

2. Les objets d'enseignement relevant de la didactique sont issus de recherches récentes. Ce sont souvent des objets bruts qui peuvent à la limite nécessiter, pour pouvoir être utilisés en formation de manière pertinente, que le formateur soit lui-même chercheur ou qu'il se soit longuement impliqué dans l'étude des travaux de recherche dans cette discipline. Dans ces conditions, la place institutionnelle faite à la didactique pourrait dépendre de caractéristiques propres à l'équipe des formateurs dans la discipline.

"dictatque" est
un terme
polysémique

3. Il apparaît, de plus, que le terme de "didactique" est employé avec des significations très différentes ce qui fait que, derrière les mots, peuvent se cacher des réalités fort diverses relatives aux contenus et aux méthodes de formation "didactiques". De plus, il existe une certaine ambiguïté au niveau des textes officiels qui ne définissent pas clairement le champ de ce qui est désigné sous le terme de "didactique", terme fréquemment associé à celui de pédagogie, parfois utilisé dans le cadre de la formation disciplinaire et parfois, au contraire, dans celui de la formation générale.

la dictatque
rencontre des
concurrents

4. Enfin, la didactique n'est pas seule prétendante dans la constitution du cadre de référence théorique et pratique de la professionnalisation des enseignants ; elle doit dans ce rôle affronter la concurrence d'autres candidats, se réclamant, par exemple, de la psychologie ou de la sociologie, institutionnellement mieux installés qu'elle, parce que plus anciens et souvent mieux reconnus.

En fait, les savoirs didactiques de référence susceptibles d'être enseignés en formation après transposition ne possèdent pas les caractères habituellement consentis au savoir savant dans la mesure où ils proviennent de recherches très récentes et restent souvent très attachés aux groupes qui les ont produits. Même si l'institution de recherche est différente de celle de formation, il arrive très souvent, que ce soient les chercheurs eux-mêmes qui assurent en partie la formation des enseignants en didactique des sciences. Il en

un problème
de légitimité
des savoirs
didactiques...

résulte des contenus de formation souvent centrés principalement sur les objets mis à jour par les chercheurs en question ou par des collègues proches, travaillant parfois dans le même laboratoire. Les savoirs enseignés sont ainsi faiblement dépersonnalisés et faiblement décontextualisés. Ils appartiennent à cette catégorie de savoirs que Johsua qualifie de *savoirs experts* (Johsua, 1996a) et qui tiennent leur légitimité des formateurs eux-mêmes et non pas d'une institution commune extérieure aux instituts de formation. Cette légitimation essentiellement interne ne va pas d'ailleurs sans poser quelques problèmes : qu'est-ce qui sépare, en effet, aux yeux des formés, un travail portant sur des contenus validés par la recherche, et une activité de formation, telle la préparation d'un cours, simplement fondée sur l'opinion ou l'expérience personnelle du formateur ? On peut penser que la légitimation institutionnelle dépendra du rapport à la recherche qu'auront les responsables de formation et les formateurs. Cela pose, par conséquent, la question de la formation des formateurs et de leur sensibilisation à la recherche en éducation.

De plus, la didactique n'est pas le seul savoir expert à intervenir dans un dispositif de formation à l'intérieur duquel elle est en concurrence avec d'autres références institutionnelles, héritées d'autres traditions historiques. De ce fait, les objets institutionnels issus de la didactique des sciences ne se définissent généralement pas par eux-mêmes mais très souvent contre d'autres. Ils peuvent être l'enjeu de conflits de territoires et c'est en fait souvent l'institution qui, par ses choix, leur confèrera ou non une légitimité, leur assurant par là même, ou non, les moyens de vivre en son sein.

Pour toutes ces raisons, on peut s'attendre à des différences importantes de statut faites à la didactique d'un IUFM à l'autre. C'est dire que, dans le cadre de notre étude, la didactique des sciences physiques constitue à l'évidence un objet institutionnel susceptible de prendre un sens différent et de vivre différemment dans les différentes institutions qui l'utilisent. Dans ces conditions, la question soumise à la recherche a été la suivante :

Comment la didactique des sciences vit-elle aujourd'hui dans les dispositifs de formation disciplinaire de sciences physiques des IUFM ? En particulier, rencontre-t-elle des obstacles ? Si oui, dans quels cas, quelle en est la nature et quelle en est la résistance ?

Deux hypothèses de travail découlent de cette question. La première s'appuie sur la nature de la didactique qui, comme "savoir expert", tient en partie sa légitimité au sein de l'institution de formation de la reconnaissance institutionnelle de sa pertinence par rapport aux tâches d'enseignement. Selon celle-ci, *le rapport institutionnel à la didactique est lié au rapport institutionnel à ce qu'est "un bon enseignement des sciences physiques"*. La seconde hypothèse repose sur la notion de vie des objets et d'apprentissage dans l'approche

... associés
au rapport à ce
qu'est un "bon
enseignement"

les rapports
personnels et
institutionnels
sont liés

anthropologique de Chevallard. Selon celle-ci, lors d'un apprentissage effectué dans un cadre institutionnel, le rapport personnel à un objet de savoir se construit ou change sous la contrainte du rapport institutionnel correspondant (Chevallard, 1992). Ainsi *la formation donne lieu à des phénomènes de conformités contractuelles liant plus ou moins les rapports personnels aux rapports institutionnels correspondants.*

La prise en compte de cette dernière hypothèse nous a conduit à étudier les rapports personnels à la didactique des sciences physiques en tant qu'indicateurs de la nature des rapports institutionnels correspondants. De plus, la prise en compte de l'hypothèse précédente nous a conduit à élargir le champ de notre étude à un second objet : celui de l'enseignement des sciences physiques. C'est ainsi que, pour traiter la question du rapport institutionnel à la didactique dans les IUFM, nous nous sommes appuyé :

1. sur une étude de représentations sociales concernant les sciences physiques, leur enseignement et l'apprentissage, et effectuée auprès des professeurs stagiaires de différents instituts (rapports personnels à ce que doit être un bon enseignement des sciences),
2. sur l'étude des rapports personnels de ces mêmes professeurs stagiaires à la didactique des sciences à travers, d'une part, l'analyse des déclarations des professeurs stagiaires sur la formation reçue en didactique des sciences physiques et, d'autre part, la lecture de leurs mémoires professionnels.

2. LE TERRAIN DE LA RECHERCHE

2.1. Choix des instituts

À partir d'une analyse sommaire de leurs plans de formation, nous avons choisi de travailler sur les IUFM de Besançon, Grenoble, Marseille et Reims qui nous ont semblé présenter des caractéristiques institutionnelles différentes. Un examen détaillé de leurs plans de formation et de différents textes internes, puis l'envoi d'un questionnaire suivi d'entretiens avec les responsables de formation en didactique des sciences de ces établissements nous a permis de caractériser et d'objectiver les dispositifs de formation disciplinaires en sciences physiques au moyen de variables qui, pour l'essentiel, sont présentées dans le tableau ci-après. Dans ce tableau comme dans la suite de cet article, nous désignerons ces IUFM par A, B, C et D, dans l'ordre des moyens qu'ils accordent à la didactique des sciences physiques.

IUFM	A	B	C	D
% de l'horaire de formation disciplinaire affecté à la didactique des sc. physiques	60	20	34	16
% de l'horaire de formation disciplinaire affecté à l'épistémologie des sciences	15	0	0	0
Type de fonctionnement des formateurs	Collect.	indiv.+ collect.	indiv.	indiv.
% de l'horaire de la formation disciplinaire effectué en présence de formateurs disposant d'un diplôme de 3 ^{ème} cycle en didactique des sciences	85	25	27	16
% de l'horaire effectué en présence de formateurs ayant une "culture didactique"	15	30	27	17
% des mémoires professionnels suivis par des formateurs disposant d'un diplôme de 3 ^{ème} cycle en didactique des sciences	100	0	27	8
% de l'horaire correspondant à des travaux collectifs sur le mémoire assurés par des chercheurs en didactique des sciences	30	1.5	5	1

quatre instituts
aux profils
différents

L'examen du tableau fait clairement apparaître une importante disparité institutionnelle dans la place occupée par la didactique des sciences au sein des dispositifs de formation disciplinaire. Avec une équipe de formateurs entièrement formés ou ouverts à la didactique et un horaire comprenant 75 % de didactique et d'épistémologie, avec des mémoires professionnels entièrement réalisés sous la conduite de chercheurs en didactique des sciences, la formation disciplinaire des physiciens de l'IUFM A dispose d'une spécificité institutionnelle particulièrement favorable à la didactique. À l'opposé, l'IUFM D ne bénéficie pas d'une telle situation. Quant aux instituts B et C, ils occupent des positions intermédiaires ne disposant que de quelques critères plus ou moins favorables.

2.2. Élargissement du terrain

Afin de pouvoir disposer d'éléments de comparaison concernant les représentations sociales identifiées chez les professeurs stagiaires issus de ces quatre instituts, nous avons, pour cette étude, étendu le terrain de la recherche à deux autres institutions : d'une part, une institution-source constituée par des étudiants titulaires d'une licence de sciences physiques et se destinant à l'enseignement, d'autre part, une institution-cible constituée par des professeurs en exercice depuis plusieurs années en collège ou en lycée.

3. MÉTHODOLOGIE ADOPTÉE

3.1. Remarque préliminaire concernant le savoir "didactique"

Compte tenu de ce que nous avons dit précédemment sur le caractère de savoir expert de la didactique et sur le fait qu'elle était susceptible de revêtir des aspects différents, et même de correspondre à des contenus enseignés différents, selon les dispositifs de formation, il importe de préciser ici les références "didactiques" sur lesquelles nous avons construit notre dispositif de recueil de données.

nos références
"didactiques"
sont fondées sur
les travaux
publiés en France

En France, il existe depuis une décennie environ une communauté relativement homogène de chercheurs en didactique des sciences physiques. On peut considérer qu'elle s'est constituée au début des années 80 en s'appuyant sur les échanges et les débats qui ont animé le premier atelier international de recherche en didactique de la physique qui s'est tenu en 1983 à La Londe Les Maures (3). Depuis 1991, date à laquelle a été réuni à Grenoble le premier Séminaire national de recherches en didactique des sciences physiques, cette communauté se réunit régulièrement en séminaire pour échanger, discuter, soumettre les travaux des différentes équipes au débat général. Certains des résultats des recherches de cette communauté ont fait l'objet de l'édition d'ouvrages multiples (4). Les revues *Aster* et *Didaskalia* contribuent également largement à la diffusion de ces travaux parmi les formateurs. C'est donc à l'ensemble de ces travaux et aux concepts et notions correspondantes que nous nous sommes référés pour construire notre dispositif de recueil de données.

3.2. Nature des données recueillies

Dans cette recherche, nous avons recueilli et analysé trois types de données. Dans un premier temps, nous avons effectué une étude de représentations sociales auprès de 207 personnes : 103 professeurs stagiaires issus des quatre instituts ci-dessus, 47 étudiants titulaires d'une licence de sciences physiques et 57 professeurs en exercice. La méthode a consisté à les interroger au moyen du questionnaire, donné en annexe, comportant 53 items relatifs à l'idée de la science et de son fonctionnement, aux méthodes d'enseignement et à l'apprentissage des élèves en sciences physiques. Au cours de cette enquête, les personnes interrogées

une étude de
représentations
sociales
effectuée auprès
de 207 personnes

- (3) Collectif, 1983, *Recherche en didactique de la physique : les actes du premier atelier international. La Londe Les Maures*. Éditions du CNRS, Paris.
- (4) Voir dans la bibliographie : Martinand J.-L. et al., 1992; Johsua S. et Dupin J.-J., 1993; Lemeignan G. et Weil-Barais A., 1993; Toussaint J. et al., 1995; Viennot L., 1996; Dumas-Carré A. et Goffard M., 1997; Robardet G. et Guillaud J.-C., 1997.

devaient donner leur opinion sur chacun des items en se situant sur une échelle ordinale d'accord.

des données
provenant
de questionnaires
et de mémoires
professionnels...

Nous avons ensuite interrogé les 103 professeurs stagiaires au moyen d'un questionnaire d'opinion, donné en annexe, comportant des questions ouvertes et fermées, portant sur la façon dont ils percevaient la formation reçue dans leur institut. Nous les avons, en particulier, interrogés sur l'intérêt qu'ils portaient à celle-ci et sur la façon dont ils pensaient pouvoir en réinvestir le contenu ainsi que sur les éventuels changements de leurs opinions concernant l'enseignement des sciences et la didactique. Nous leur avons également demandé ce qu'ils pensaient du travail qu'ils avaient effectué sur leur mémoire professionnel. Il s'agissait en fait d'approcher le mieux possible, chez les sujets des institutions étudiées, les rapports personnels à la didactique des sciences telle qu'ils la percevaient à travers la formation reçue à l'IUFM.

Nous avons enfin étudié méthodiquement et de manière détaillée 42 mémoires professionnels de sciences physiques provenant des quatre IUFM étudiés, et sélectionnés par les responsables de formation en didactique comme représentatifs de leur institut. Ici, l'objectif consistait à approcher la nature du rapport institutionnel à la didactique des sciences physiques à travers la lecture des mémoires provenant de chaque institut. Notre hypothèse était ici que le mémoire professionnel pouvait constituer un objet d'étude particulièrement intéressant dans la mesure où celui-ci, généralement réalisé par le professeur stagiaire sous la direction d'un formateur de l'institution, pouvait apparaître comme un puissant révélateur du contrat institutionnel qui lie les formés à leur institut dans le cadre de la formation disciplinaire.

3.3. Méthodes de traitement

...traitées par
deux méthodes
d'analyse
multiple

Concernant les questions fermées par des items, nous avons soumis les réponses à deux types d'analyses multiples en espérant que les résultats obtenus se recouperaient, ce qui fut le cas. D'une part les différents items ont été traités individuellement selon une méthode d'analyse dite de classification hiérarchique des similarités (CHS). D'autre part des regroupements d'items ayant été effectués *a priori* en catégories, nous les avons traitées par une seconde méthode d'analyse dite en composantes principales (ACP). S'agissant des questions ouvertes, elles ont été "fermées *a posteriori*" et soumises à des analyses factorielles des correspondances (AFC). Quant aux mémoires professionnels ils ont fait l'objet d'une analyse globale critériée et qualitative, puis d'une analyse détaillée et quantitative de contenu.

4. PREMIERS RÉSULTATS : DEUX REPRÉSENTATIONS CONTRADICTOIRES

L'étude des représentations sociales concernant les rapports personnels à l'enseignement des sciences nous a permis d'identifier de manière particulièrement nette dans la population interrogée deux représentations contradictoires que nous avons qualifiées de "naturaliste" et "d'anti-naturaliste". (Robardet, 1995)

4.1. La représentation naturaliste

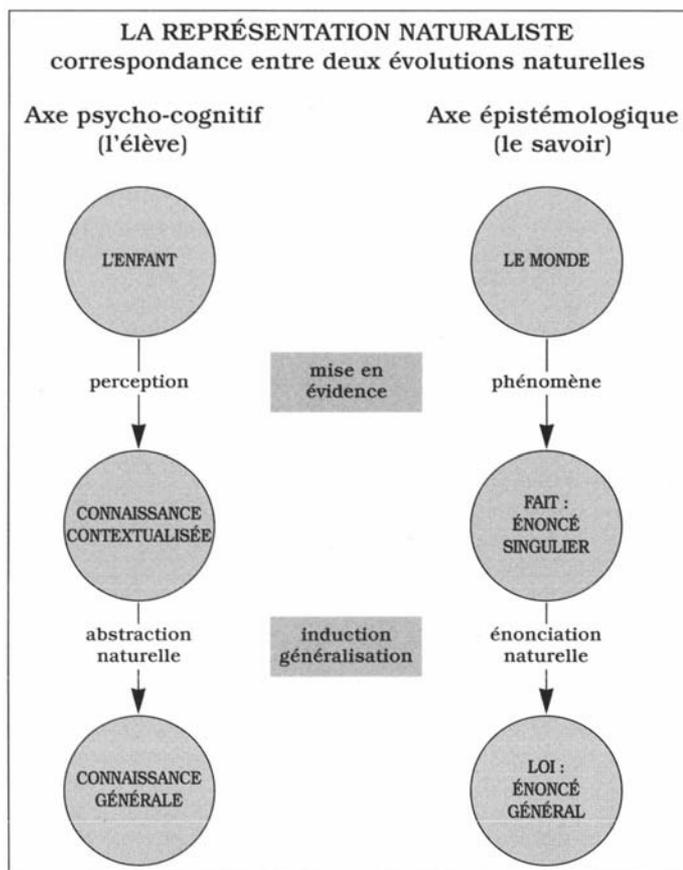
un enseignement
de type
transmissif
et d'inspiration
empirico-réaliste

Cette représentation (5) peut schématiquement se résumer ainsi : *À travers l'expérience, la réalité s'offre naturellement à l'observateur. Les lois sont ainsi mises en évidence par l'expérience première. Les connaissances apportées se stratifient naturellement des plus simples aux plus complexes. Tout doit être mis en œuvre pour qu'il n'y ait pas d'erreurs.*

Elle correspond à une vision de la science de type "empirico-réaliste". Même s'il peut sembler abusif d'attribuer à ces opinions le caractère d'options philosophiques, il reste que la démarche d'enseignement privilégiée semble être de type inductiviste (Johsua & Johsua, 1987 et 1988), c'est-à-dire qu'elle s'appuie sur une expérience de référence prototypique ayant pour fonction essentielle, à partir de l'observation, la mise en évidence des phénomènes qui seront traduits naturellement en faits singuliers et qui permettront par un processus tout aussi naturel et évident leur généralisation sous la forme d'un énoncé général qui constituera la loi que l'on désire institutionnaliser.

Le modèle d'apprentissage fonctionne selon un schéma semblable : en s'appuyant sur l'évidence de la perception, l'élève acquerrait une connaissance contextualisée qui se transformerait, par un processus naturel d'abstraction, en une connaissance générale. Apprentissage naturel et mise en évidence expérimentale s'appuieraient ainsi mutuellement en fonctionnant de concert selon le schéma page suivante.

(5) Le qualificatif de "naturaliste" employé ici à propos de représentations sociales concernant l'enseignement des sciences physiques ne doit pas être confondu avec celui qui concerne une approche épistémologique en sciences de la vie.



4.2. La représentation anti-naturaliste

On peut la résumer ainsi : *Face à un problème à résoudre, l'observation est guidée par des considérations théoriques posées a priori et génératrices d'hypothèses que l'expérience devra valider ou invalider. Les connaissances sont construites par l'élève lui-même selon un processus ni linéaire ni progressif, mais fortement associé à la résolution du problème. L'erreur est vue comme un outil producteur de sens.*

une approche
constructiviste
de la science
et de son
enseignement

Sur le plan du statut du savoir scientifique, cette représentation anti-naturaliste s'articule autour d'opinions qui ont, semble-t-il, quelques parentés avec les thèses du constructivisme en sciences selon lesquelles l'observation est guidée par la théorie que l'individu s'est construite et qu'on ne voit qu'à travers le filtre de ses représentations (Fourez, 1996), ou rationalistes au sens de Bachelard (1949). Sur le plan de la construction des connaissances, donc de l'apprentissage, cette représentation a également quelque chose à voir avec les modèles interactionnistes héritiers soit de Piaget soit de

Vygotsky (Johsua & Dupin, 1993) selon lesquels l'enfant construit (ou reconstruit) ses connaissances en raison d'un double processus d'*assimilation-accommodation* et cela, en interaction avec son environnement physique et/ou social.

4.3. Compatibilité de ces représentations avec les approches didactiques

Comme nous l'avons signalé plus haut, les résultats obtenus par les recherches en didactique des sciences expérimentales sur les représentations cognitives (les conceptions) et le raisonnement naturel ont progressivement conduit la didactique à envisager et à expérimenter d'autres démarches d'enseignement visant à faire prendre conscience à l'élève de l'insuffisance des concepts spontanés et de la supériorité des concepts scientifiques pour aborder et tenter de résoudre les problèmes qui se posent en sciences. Les travaux les plus récents en didactique semblent même indiquer que les approches orientées au seul changement conceptuel, même si elles prennent en compte les conceptions, s'avèrent insuffisantes dès lors que, restant centrées sur la recherche de la mise en évidence des écarts existant entre concepts spontanés et concepts scientifiques, elles n'incluent pas la nécessité de changements épistémologique et méthodologique (Gil Perez, 1993). Comme on le voit, la didactique, par les résultats de ses travaux, s'inscrit profondément en rupture avec les démarches d'enseignement et d'apprentissage des sciences fondées sur la mise en évidence des phénomènes et l'acquisition passive des connaissances par imprégnation naturelle, donc avec la représentation naturaliste. Les démarches d'enseignement qu'elle préconise ne sont pas compatibles avec cette dernière, mais, au contraire, profondément de type *anti-naturaliste*.

la dictatique
préconise des
démarches
anti-naturalistes

4.4. Présence des deux représentations dans les populations étudiées

Nous avons regardé, pour chaque type de population, comment se répartissaient les deux représentations. Les résultats de cette étude sont consignés dans le tableau ci-après.

	Représentation naturaliste	Représentation anti-naturaliste
Prof. en exercice	72 %	28 %
Étudiants en licence	64 %	36 %
IUFM A	13 %	87 %
IUFM B	50 %	50 %
IUFM C	78 %	22 %
IUFM D	73 %	27 %

la représentation
naturaliste
est fortement
dominante...

À l'examen, on constate que la représentation naturaliste est fortement dominante parmi les professeurs en exercice et, dans une moindre mesure, chez les étudiants en licence de sciences physiques. On retrouve cette forte prédominance chez les professeurs stagiaires issus des IUFM C et D. Inversement, la représentation naturaliste est très minoritaire chez les stagiaires issus de l'IUFM A tandis que les deux représentations s'équilibrent parmi les stagiaires issus de l'IUFM B.

... mais est
susceptible
d'être attaquée

Un rapprochement de ces résultats avec les caractéristiques des dispositifs de formation disciplinaires des quatre instituts (cf. tableau donné plus haut) montre que la représentation naturaliste est susceptible d'être attaquée de manière efficace lorsque la didactique dispose de moyens institutionnels importants et variés au sein du dispositif de formation disciplinaire, lui permettant de peser suffisamment face aux habitudes dominantes dans le milieu de l'enseignement. Il semble que ce soit le cas à l'IUFM A. Ce qui signifierait que le poids accordé aux approches didactiques et le nombre des formateurs formés à la didactique jouent un rôle déterminant dans ce processus surtout s'il y a un fonctionnement collectif et homogène de l'équipe.

5. ÉTUDE DES RAPPORTS INSTITUTIONNELS À LA DIDACTIQUE

5.1. Analyse du questionnaire d'opinion concernant la formation reçue

Il apparaît tout d'abord que les réponses des étudiants diffèrent beaucoup d'un IUFM à l'autre, tout en restant relativement homogènes à l'intérieur d'un même institut. Les réponses des stagiaires de l'IUFM A témoignent à 73 % d'un rapport positif à la didactique des sciences. Ce rapport est plus nuancé (50 %) à l'IUFM B et s'inverse complètement chez les stagiaires des IUFM C (26 %) et D (27 %). Dans leurs réponses à des questions ouvertes, les professeurs stagiaires de l'IUFM A et, dans une moindre mesure ceux de l'IUFM B, évoquent majoritairement des changements de point de vue épistémologiques concernant notamment le statut de l'expérimental et relatifs aux représentations cognitives, aux difficultés et obstacles des élèves, ce qui n'est pas le cas des réponses obtenues dans les IUFM C et D.

Concernant les enseignements de didactique, les réponses obtenues à l'IUFM A témoignent d'un rapport généralement positif (la didactique "*m'aide à faire des choix*", "*m'amène à me poser beaucoup de questions*", "*m'a obligé à remettre en cause des habitudes et des certitudes*" etc.). Ils avouent cependant avoir été déstabilisés mais disent ne pas le regretter. Alors que chez les stagiaires des IUFM D, le rap-

port est plutôt négatif (la didactique “ne m’a pas convaincu”, “est peu applicable en pratique”, “pose plus de questions qu’elle n’apporte de réponse” etc.). Les stagiaires des IUFM B et C adoptent des positions plus nuancées, les premiers positivement, les seconds de manière négative.

Les réponses concernant le travail effectué par les stagiaires pour réaliser leur mémoire professionnel confirment tout à fait les résultats précédents. Les stagiaires de l’IUFM A et ceux de l’IUFM B (toujours plus nuancés) disent que ce travail leur a permis de se “*familiariser avec la didactique (et) avec les recherches sur l’enseignement*”, de s’“*interroger sur les méthodes d’enseignement*”, de mieux se “*préparer à l’exercice du métier*”.

des rapports
à la didactique
qui diffèrent
d’un institut
à l’autre...

Plusieurs éléments de réponses, concernant aussi bien les difficultés rencontrées lors du stage que les qualités reconnues à la didactique ou les modifications des pratiques entraînées par le travail sur le mémoire, semblent témoigner, chez les stagiaires de l’IUFM A, d’une formation se situant davantage en rupture avec les pratiques habituelles que dans les autres instituts, notamment à l’IUFM D. Les résultats que nous avons obtenus tout au long de ce questionnaire se recoupent remarquablement. Ils nous autorisent à penser qu’ils expriment ainsi le sentiment profond des stagiaires interrogés concernant la formation reçue en didactique et le travail sur le mémoire professionnel et donc que nous avons pu approcher leurs rapports personnels à la didactique des sciences.

Tout comme celles des stagiaires de l’IUFM A, les positions de ceux de l’IUFM B témoignent donc d’un rapport positif à la didactique mais il n’apparaît pas clairement que ces derniers désignent bien par “*didactique*” les mêmes concepts que les premiers (des éléments issus de leurs réponses sembleraient, en effet, indiquer qu’ils ont de la didactique une vision plus “*pédagogique*”, en ce sens qu’ils semblent parfois en réduire les effets à la résolution des problèmes de gestion ou d’animation de la classe et cela indépendamment du savoir en jeu). À l’IUFM C, les déclarations des professeurs stagiaires comme celles concernant le travail sur le mémoire laissent apparaître un rapport plutôt négatif à la didactique mais de manière plus atténuée qu’à l’IUFM D, les réactions de rejet semblant surtout concentrées sur le mémoire professionnel.

Nous avons pu constater, ici encore avec cette étude, une importante homogénéité dans les réponses des stagiaires d’un même institut. Cela témoigne, nous semble-t-il, de phénomènes de conformités institutionnelles, d’effets de contrats, permettant de déduire que les rapports personnels à la didactique étudiés sont, de fait, fortement corrélés aux rapports institutionnels correspondants conformément à notre seconde hypothèse de travail. De plus, nous avons pu remarquer que les rapports à la didactique des sciences et à ce qu’est “un bon enseignement” de sciences physiques cor-

... homogènes
dans un même
institut...

...et conformes
au poids de la
représentation
naturaliste

respondent bien : ils sont plutôt négatifs lorsque la représentation naturaliste domine et positifs dans le cas contraire (Robardet, 1995). Cela confirme notre première hypothèse de travail selon laquelle ces deux rapports devaient être liés.

5.2. Analyse des mémoires professionnels

Nous avons étudié 42 mémoires professionnels équitablement répartis entre les quatre instituts.

Dans un premier temps, nous avons procédé à une analyse qualitative critériée de ces mémoires. Nous avons, dans cette intention, constitué une grille de critères inspirée en partie du cadre théorique de l'*ingénierie didactique* issu de la didactique des mathématiques (Artigue, 1988). Nous avons ainsi analysé chaque mémoire sous trois angles : celui de son objet d'étude, celui de l'approche théorique et celui de la méthodologie et de la démarche utilisée.

Dans un deuxième temps, nous avons procédé à une analyse détaillée de chaque mémoire. Pour cela, nous avons découpé le texte en unités de signification chacune étant constituée d'une phrase ou d'un ensemble de phrases consécutives véhiculant généralement une idée. Nous avons ensuite catégorisé chaque unité selon qu'elle faisait référence à des éléments théoriques (didactiques, épistémologiques, scientifiques, psycho-sociologique etc.) ou pratiques (référence aux stages, aux situations professionnelles, aux habitudes et pratiques du terrain). Puis nous avons compté les unités pour chaque mémoire et par catégorie, ce qui nous a permis d'évaluer de manière quantitative, à travers ces mémoires, les différents rapports aux éléments théoriques et pratiques de la formation.

Les résultats de ces deux études montrent de manière assez évidente que les mémoires professionnels correspondent à des objets différents selon les instituts dans lesquels ils sont produits (6). De plus, ils présentent dans chaque institut une grande homogénéité. Leurs caractéristiques sont cohérentes avec les rapports institutionnels à la didactique et avec la présence de la représentation naturaliste.

Ainsi, nous avons constaté que, lorsque la didactique dispose de spécificités institutionnelles importantes, ce qui est le cas à l'IUFM A, les mémoires font largement appel à des travaux et à des éléments théoriques de didactique ou d'épistémologie des sciences. On retrouve dans ces mémoires certains des critères d'un travail de recherche (appui sur un questionnement, insertion de celui-ci dans une problématique en référence à des travaux publiés sur la question, construction d'un dispositif de recueil de données, anticipation des réponses possibles, analyse des résultats par confrontation avec les anticipations effectuées, conclu-

les mémoires
différent d'un
institut à l'autre

(6) Nous n'avons pas la place de détailler ici ce travail. Pour plus d'informations, nous renvoyons le lecteur à Robardet, 1995, ou à Robardet, 1999 (article à paraître).

les mémoires
professionnels
reflètent les
différents
rapports à la
dictatique

sion en rapport avec la problématique de départ). Cela reflète assez bien une volonté d'initiation à la démarche de recherche impulsée, dans cet IUFM, par l'institution.

Inversement, lorsque la didactique ne dispose pas de moyens institutionnels importants, on constate que les mémoires ne font appel qu'au seul terrain de la pratique. Selon les instituts, tantôt ces mémoires se présentent sous forme de dossiers qui témoignent d'une innovation ou d'essais effectués par le stagiaire dans sa classe (cas de l'IUFM D), tantôt il s'agit d'enquêtes ou d'observations instrumentées effectuées par le professeur stagiaire auprès de ses élèves au moyen de questionnaires ou de documents (copies) provenant de ces derniers (cas de l'IUFM C). De plus, s'il apparaît que, dans ces IUFM, les mémoires contiennent, pour l'essentiel, des propositions d'enseignement et des analyses de difficultés liées à la pratique, celles-ci sont présentées sans qu'il soit fait, de manière significative, référence à des travaux, à des connaissances ou à des savoirs théoriques en relation avec le sujet. Or, ces sujets rencontrent des domaines étudiés par la didactique, les psychologies cognitive ou sociale ou les sciences de l'éducation. Rappelons que, 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"* (7). Il était donc possible et même souhaitable que les auteurs de ces mémoires réfèrent leurs travaux à des éléments théoriques, éventuellement autres que didactiques, et généralement enseignés dans les IUFM. Tel ne fut pas le cas. Ici, au contraire, nous n'avons trouvé, à quelques rares exceptions près, que des références provenant du terrain de l'enseignement (programmes, instructions officielles, manuels scolaires, etc.).

Notre sentiment est que les mémoires professionnels pourraient témoigner de deux types de conceptions de la pratique d'enseignement et donc de deux conceptions de la formation des maîtres qu'il est possible de présenter schématiquement suivant deux modèles, le premier s'inscrivant en continuité avec les pratiques habituelles de terrain, le second, en rupture avec ces mêmes pratiques.

des résultats
qui témoignent
de deux modèles
de formation

Dans le premier modèle, la pratique relève naturellement de l'imitation de l'expert et l'expertise s'acquiert par l'expérience : cela conduit à un modèle de la formation par reproduction des savoir-faire communiqués par des professeurs "chevronnés". Compte tenu de la nature de la représentation dominante, cette conception de la formation est, nous le voyons, cohérente avec la représentation *naturaliste* de l'en-

(7) Circulaire n° 91-202 du 2 juillet 1991 intitulée "Contenu et validation des formations organisées par les instituts universitaires de formation des maîtres".

seignement. Au niveau des mémoires, cela conduit à l'élaboration de documents, témoignages, description ou récits autour d'un vécu ou d'une innovation fréquemment impulsée par le savoir-faire du tuteur ou d'un collègue de terrain.

Le second modèle de formation, en rupture avec les pratiques habituelles, vise, au contraire, à interroger les pratiques conformes à la représentation dominante ce qui suppose alors un pas de côté, un regard distancié par rapport à ces pratiques. Cette attitude correspond à un détour théorique vis-à-vis de la classe et de l'acte d'enseigner, à cette capacité de décentration, façon méthodique et rationalisée d'observer et d'analyser par soi-même, comme de l'extérieur et en fonction de références objectives, le processus d'enseignement en train de se dérouler. Cette deuxième attitude semble cohérente avec une représentation de la science et de l'enseignement de type *anti-naturaliste*.

CONCLUSION

L'étude que nous avons conduite auprès de plus de 200 étudiants, futurs professeurs et enseignants de sciences physiques a permis d'identifier une représentation de la science, de son enseignement et de l'apprentissage que nous avons qualifiée de "*naturaliste*". Si l'on en juge par les résultats que nous avons obtenus, la représentation naturaliste semble très fortement répandue, pour ne pas dire hégémonique, dans le milieu de l'enseignement des sciences physiques (72 % chez les enseignants en exercice).

L'origine de cette représentation doit probablement être recherchée au niveau de l'introduction de l'enseignement expérimental des sciences qui s'est imposée au début du siècle, et pendant toute la première moitié de celui-ci, en réaction aux approches scolastiques qui avaient cours jusqu'alors. On peut penser que les nouvelles thèses positivistes auxquelles avaient alors souscrit nombre de scientifiques y furent pour quelque chose et que l'introduction de l'enseignement expérimental fut à l'époque, à n'en pas douter, un progrès. Depuis, cette représentation n'aurait cessé de s'installer dans les pratiques d'enseignement à la faveur d'un cycle de reproduction qui veut que les enseignants aient été auparavant des élèves soumis, eux-mêmes, aux processus qui la caractérisent. Cette installation dans les pratiques aurait progressivement conféré à la méthode "*naturelle*" une légitimité toute aussi naturelle dans le milieu de l'enseignement des sciences, et c'est cette légitimité naturelle qui la dispenserait actuellement *de facto* de la nécessité d'être justifiée sur le plan théorique au cours de la formation professionnelle des maîtres.

Il fallut bien constater cependant que, malgré le recours à la mise en évidence expérimentale des phénomènes et des

l'origine de la représentation naturaliste remonte probablement au début du siècle en France

faits, les nombreuses difficultés conceptuelles rencontrées par les élèves en sciences physiques ne furent pas levées pour autant avec l'introduction des méthodes expérimentales. Ce constat d'échec fut à l'origine d'une grande partie des recherches entreprises en didactique des sciences dans la deuxième moitié du siècle, recherches qui prirent notamment au départ appui sur des thèses que l'on pourrait qualifier d'"*anti-naturalistes*" avancées, d'une part par Bachelard avec le concept d'obstacle épistémologique et le rationalisme scientifique, et, d'autre part, par le constructivisme piagétien. Le développement des connaissances ayant accompagné les travaux qui ont été effectués depuis cette époque, tant en didactique et en épistémologie des sciences qu'en psychologie et en socio-psychologie, a progressivement conduit la didactique des sciences à prendre un certain nombre de distances avec les positions qui fondaient l'enseignement expérimental tel qu'il avait été conçu initialement. Ce faisant, des chercheurs en didactique des sciences ont été conduits à concevoir et à expérimenter des démarches d'enseignement scientifique de type *anti-naturalistes*. Celles-ci se distinguent, en effet, des premières par un important changement méthodologique : l'observation n'y est plus première mais guidée par les connaissances ou les conceptions préalables de l'observateur, l'expérience n'est pas construite pour mettre en évidence les théories mais pour tenter de valider ou d'invalider des hypothèses, et le modèle d'apprentissage privilégié n'est plus linéaire et cumulatif mais fondé sur le réarrangement cognitif notamment à travers le débat et la résolution de problèmes. Ainsi, le discours de la didactique des sciences et les pratiques qu'elle propose s'inscrivent-ils généralement en rupture avec la représentation dominante naturaliste et celle-ci s'avère donc difficilement compatible avec les approches didactiques.

la représentation naturaliste peut être attaquée avec succès par une formation en rupture avec les pratiques habituelles

Notre étude montre cependant que cette représentation ne semble pas toujours se constituer en obstacle majeur vis-à-vis de celles-ci puisque dans le cadre de la formation prévue il s'avère possible d'agir sur elle et d'obtenir des modifications importantes au niveau des opinions des professeurs stagiaires. Aussi nous paraît-il difficile de nous inscrire dans les rangs de ceux qui considèrent cette représentation comme trop résistante pour pouvoir être mise en difficulté par un travail de formation avec quelque chance de succès. Bien au contraire, notre conviction est que ce déplacement de la représentation est possible et que la didactique, qui s'inscrit en rupture avec elle, constitue une candidate de choix pour y parvenir. Les opinions recueillies chez les professeurs stagiaires et l'analyse de leurs mémoires professionnels nous ont, en effet, permis de constater que lorsque la représentation naturaliste se trouvait mise en difficulté, cela s'accompagnait chez eux d'un rapport positif à didactique. Bien entendu, nous savons bien qu'un tel déplacement de la représentation naturaliste n'implique

pas celui de l'*habitus* (8) et que, par conséquent, rien ne dit que, sorti de l'institut de formation, et subitement immergé, à plein temps, dans le jeu des contraintes et des sollicitations du système d'enseignement, le jeune professeur de sciences physiques parvienne à mettre en œuvre un enseignement "*anti-naturaliste*" fortement inspiré des savoirs didactiques. Il y faudra probablement d'autres moyens et une formation continuée s'inscrivant davantage dans la durée tout au long des premières années d'enseignement.

Toujours est-il que si le déplacement de la représentation n'est en aucune manière une condition suffisante au changement de pratique, il n'en demeure pas moins l'une des conditions nécessaires. Or, au regard de nos résultats, il semblerait que, faute de moyens institutionnels suffisants permettant de construire une formation suffisamment en rupture avec les pratiques habituelles, la représentation naturaliste se constitue alors en obstacle puissant vis-à-vis des approches didactiques et que celles-ci puissent être l'objet de réactions de rejet, parfois violentes, de la part des formés. En fait, il semble qu'on ne puisse arriver à un point de vue didactique simplement par observation des pratiques habituelles tout simplement parce que le point de vue didactique n'est pas "naturel" et qu'il se situe en rupture, non seulement avec le sens commun, mais encore avec les pratiques habituelles de terrain, avec l'*habitus*. Dans ces conditions, il ne pourrait donc pas y avoir de formation didactique "économique". Ceci d'autant plus que 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 manifesterait 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 œuvre du plan de formation, mais aussi au niveau, beaucoup plus microcosmique, de décisions concernant les modalités et les caractéristiques de 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.

Quel serait, aujourd'hui l'enjeu pour la didactique en formation des maîtres? Selon nous, celle-ci n'a pas à redouter comme un obstacle majeur, sur le terrain de la formation, la représentation naturaliste. Et ce serait davantage en direction des institutions et d'elle-même qu'elle devrait faire porter ses efforts pour s'imposer comme une référence pertinente et importante vis-à-vis de la formation des ensei-

mais il ne pourrait pas y avoir de formation didactique "économique"

(8) *Habitus* qui serait davantage de type dogmatique qu'inductiviste. Cf. article de Bernard Darley et Simone Bonchil dans ce même numéro.

gnants. Aussi, si nos hypothèses s'avéraient exactes, la didactique des sciences se trouverait-elle à un moment relativement crucial au cours duquel elle aurait à jouer sa crédibilité dans la formation des enseignants de sciences physiques ainsi que ses conditions de vie et de développement au milieu des autres savoirs experts intervenant dans cette formation.

Il nous semble qu'elle devrait, pour cela, se mobiliser derrière deux objectifs qui nous paraissent essentiels. D'une part, il lui faudrait élaborer un corps de références "professionnelles" pratiques et théoriques susceptibles de répondre au niveau de la formation des maîtres aux problèmes et difficultés que ne parviennent pas à dépasser les options naturalistes : ce corps de références serait, semble-t-il, en cours de constitution ainsi qu'en témoignent la publication de travaux récents d'ingénierie de formation en didactique des sciences (Astolfi et al., 1997). D'autre part, les analyses des données recueillies au cours de notre travail sur les effets institutionnels nous incitent à penser que la didactique des sciences gagnerait beaucoup à convaincre dans le même temps les institutions de formation de la pertinence et de la spécificité de ses approches pour la formation des enseignants afin que les choix institutionnels puissent s'effectuer, en sciences physiques, en toute connaissance de cause.

Guy ROBARDET
L.I.D.S.E. Université
Joseph-Fourier - Grenoble

BIBLIOGRAPHIE

ARTIGUE, M. (1988). "Ingénierie didactique". *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9, 3, 281-308. Grenoble : La Pensée Sauvage.

ASTOLFI, J.-P. et al. (1997). *Pratiques de formation en didactique des sciences*. Bruxelles : De Boeck-Université.

BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.

BACHELARD, G. (1949). *Le rationalisme appliqué*. Paris : P.U.F.

BOY, D. & MUXEL, A. (1989). "Les jeunes et la science". *Culture technique*, 20, 29-46. Neuilly : C.R.C.T.

BOYER, R. & TIBERGHEN, A. (1989). "Des opinions de professeurs et d'élèves sur l'enseignement des sciences physiques au lycée". *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 712, 305-321. U.D.P. Paris.

- CAREY, R. L. & STAUSS, N. G. (1968). "An analysis of the understanding of the nature of science by prospective secondary science teachers". *Sciences Education*, 52, 358-363.
- CAREY, R. L. & STAUSS, N. G. (1970). "An analysis of experienced teachers' understanding of the nature of science". *School Science and Mathematics*, 70, 366-376.
- CHEVALLARD, Y. (1992). "Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique". *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 12-1, 73-112.
- DÉSAUTELS, J. (1989). "Développement conceptuel et obstacle épistémologique". In N. Bednarz et C. Garnier (Éds.). *Construction des savoirs : obstacles et conflits*, (pp. 258-267). Ottawa : Agence d'Arc inc.
- DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNÉ, B. & RUEL, F. (1993). "La formation à l'enseignement des sciences : le virage épistémologique". *Didaskalia*, 1, 49-67.
- DRIVER, R. (1986). "Psicologia cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos". *Enseñanza de las Ciencias*, 4-1, 3-15.
- DRIVER, R. (1989). "Students' conceptions and the learning of science". *International Journal of Science Education*, 11-5, 481-480.
- DUMAS-CARRÉ, A. & GOFFARD, M. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris : PUF.
- FOUREZ, G. (1996). *La construction des sciences*, 3ème édition. Bruxelles : De Boeck-Université.
- GIL PÉREZ, D. (1993). "Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique". *Aster*, 17, 41-64. Paris : INRP.
- GUILBERT, L. & MELOCHE, D. (1993). "L'idée de science chez les enseignants en formation : un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions?". *Didaskalia*, 2, 7-30.
- HULIN, M. (1992). *Le mirage et la nécessité*. Paris : Presses de l'ENS et du Palais de la Découverte.
- JODELET, D. (1989). "Représentations sociales : un domaine en expansion". In *Les représentations sociales*. Paris : P.U.F.
- JOHSUA, S. (1988). "La perdurance des obstacles épistémologiques : un révélateur de leur nature". In N. Bednarz et C. Garnier (Éds.). *Construction des savoirs : obstacles et conflits* (pp. 110-116). Montréal : CIRADE.

JOHSUA, M.-A. & JOHSUA, S. (1987). "Les fonctions didactiques de l'expérimental dans l'enseignement scientifique (première partie)". *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 8-3, 231-266.

JOHSUA, M.-A. et JOHSUA, S. (1988). "Les fonctions didactiques de l'expérimental dans l'enseignement scientifique (deuxième partie)". *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9-1, 5-30.

JOHSUA, S. & DUPIN, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : P.U.F.

JOHSUA, S. (1996). "Le concept de transposition didactique n'est-il propre qu'aux mathématiques?". In M. Caillot et D. Raïsky (Éds.). *Le didactique au-delà des didactiques* (pp. 61-73). Bruxelles : De Boeck.

KOULALDIS, V. & OGBORN J. (1989). "Philosophy of science : an empirical study of teachers' views". *International Journal of Science Education*, 11, 2, 173-184.

LAROCHELLE, M. & DÉSAUTELS, J. (1991). "'Of course, it's just obvious": adolescents' ideas of scientific knowledge". *International Journal of Science Education*, 13, 4, 373-389.

LEMEIGNAN, G., & WEIL-BARAIS, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette éducation.

MARTINAND, J.-L. et al. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en science*. Paris : INRP.

NADEAU, R. & DÉSAUTELS, J. (1984). *Épistémologie et didactique des sciences*. Conseil des sciences du Canada, coll. "Exposé à débattre".

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. & GUILLAUD, J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques : théories, modèles, conceptions et raisonnement spontané*. Paris : PUF, coll. Pédagogie d'aujourd'hui.

ROBARDET, G. (1999). "Étude de rapports institutionnels à la didactique des sciences à travers l'analyse de mémoires professionnels de professeurs stagiaires en IUFM". *Didaskalia 14*. Bruxelles : De Boeck. (Article à paraître).

TOUSSAINT, J. et al. (1996). *Didactique appliquée de la physique-chimie*. Paris : Nathan.

VIENNOT, L. (1996). *Raisonnement en physique, la part du sens commun*. Paris, Bruxelles : De Boeck.

ANNEXE

QUESTIONNAIRE RELATIF À LA SCIENCE, SON ENSEIGNEMENT ET L'APPRENTISSAGE DES ÉLÈVES EN SCIENCES

Êtes-vous tout à fait d'accord (+2), plutôt d'accord (+1), plutôt pas d'accord (-1), pas du tout d'accord (-2), avec les propositions ci-dessous concernant :

A. Les sciences physiques

1. Une science expérimentale se construit à partir des faits.
2. C'est une idée a priori qui est à l'origine d'une théorie.
3. Dans la démarche expérimentale, la première phase à mettre en œuvre est celle de l'observation qui permet de découvrir les faits.
4. Une théorie est une synthèse effectuée à partir de l'analyse d'une accumulation de faits.
5. Les découvertes scientifiques sont souvent dues à un fait essentiel apparu par hasard.
6. Mettre en place une démarche expérimentale à propos d'un problème à résoudre, c'est partir d'une théorie puis bâtir une ou des hypothèses que l'on vérifiera expérimentalement.
7. Le chercheur n'utilise pas les faits pour bâtir sa théorie mais pour la vérifier.
8. Un bon chercheur est quelqu'un qui observe d'abord.
9. La raison nous dit que les lois sont dans la nature et que le rôle de la science est de les mettre en évidence.
10. Ce sont les a priori du chercheur plus que les faits qui orientent la démarche expérimentale.
11. Une découverte est toujours liée au climat scientifique de son époque.
12. Une découverte scientifique n'est le plus souvent que la confirmation momentanée d'une théorie.
13. Un bon chercheur doit rester neutre face à son sujet d'étude.
14. Une théorie n'est pas déduite de la réalité, mais construite par le chercheur pour en représenter le fonctionnement.
15. Une théorie ne supporte pas l'approximation. Son statut est celui de l'axiomatique et de la rigueur.

B. Enseigner les sciences physiques

1. En règle générale, un bon enseignement de sciences physiques ne doit pas commencer par une expérience mais par une réflexion autour d'une question.
2. Un enseignement de sciences physiques doit donner la priorité aux manipulations des élèves.

3. En classe, l'expérience doit avoir pour fonction principale de permettre aux élèves de mettre à l'épreuve leurs idées préalables, qu'elles soient justes ou fausses.
4. En règle générale, un bon enseignement de sciences physiques doit commencer par une (ou des) expérience(s) simple(s) et claire(s).
5. Une bonne expérience de T.P. doit être conduite suivant les quatre étapes suivantes : Mise en route du montage. Observations et/ou mesures. Interprétation. Conclusion.
6. Un bon enseignement de sciences physiques doit aller à l'essentiel.
7. Une bonne méthode à utiliser en séance de T.P. consiste à donner aux élèves une feuille sur laquelle ils trouveront la procédure à suivre concernant les mesures et les travaux à effectuer.
8. Plus que l'acquisition d'une connaissance, un cours de physique doit se donner comme objectif prioritaire le franchissement, par les élèves, d'une difficulté conceptuelle ou méthodologique importante.
9. En classe de physique, le rôle de l'expérience est principalement de mettre en évidence et de fonder la loi qu'on se propose d'établir.
10. L'enseignement des sciences doit être organisé de manière à ce que les connaissances soient introduites logiquement une à une de la plus simple à la plus complexe.
11. Une expérience de physique n'a de sens que si, au départ, l'élève a déjà une idée de la loi qu'elle doit permettre de valider.
12. Un bon enseignement scientifique doit se faire selon une démarche de résolution de problèmes.
13. L'enseignement scientifique doit faire une place importante au débat entre les élèves.
14. Un bon enseignement de physique doit toujours partir des idées (éventuellement fausses) que les élèves ont sur la question qui va être traitée et les prendre en compte.
15. On doit se garder d'enseigner une notion scientifique ou une loi si les élèves n'en perçoivent pas l'utilité.
16. Ce qui est essentiel, dans l'enseignement de sciences physiques, c'est que les élèves acquièrent des méthodes générales qu'ils pourront réinvestir dans d'autres matières.
17. Un bon enseignement de sciences physiques doit partir d'une situation-problème issue de la vie courante.
18. En physique, comme ailleurs, l'essentiel est que l'élève apprenne à apprendre.

C. Apprendre de la physique ou de la chimie

1. Pour pouvoir apprendre, l'élève doit disposer le plus rapidement possible d'un cours clair et simple.
2. En classe les choses doivent être organisées de telle façon que les élèves fassent le moins d'erreurs possible.
3. Apprendre consiste à faire évoluer ses représentations.
4. L'erreur est constitutive du processus de construction de connaissances.

5. En sciences, l'élève qui n'a pas vu tel ou tel point important du programme risque d'être lourdement handicapé par la suite.
6. L'activité de l'élève doit être organisée de telle manière qu'il soit mis en situation d'identifier et de rectifier lui-même ses erreurs.
7. C'est juste ou c'est faux : il y a bien quelque part une vérité à laquelle il faut souscrire, c'est pourquoi l'erreur doit être sanctionnée.
8. La meilleure méthode pour faire disparaître les erreurs consiste à multiplier le nombre des exercices d'application.
9. Le travail en petits groupes est le meilleur moyen d'amener les élèves à comprendre leurs erreurs.
10. Faire travailler les élèves en petits groupes présente plus de risques que d'avantages.
11. Il est préférable de décomposer un problème trop complexe en plusieurs questions simples.
12. Même en sciences, l'apprentissage n'est pas un processus cumulatif et linéaire.
13. Apprendre consiste avant tout à maîtriser des méthodes d'autant plus utiles qu'elles sont transférables d'une matière à une autre.
14. L'apprentissage se construit par l'atteinte progressive d'objectifs opérationnels, clairs et précis, sur lesquels l'élève s'est entraîné en résolvant notamment de petits exercices adaptés.
15. L'erreur est de toute évidence un obstacle à l'apprentissage.
16. Il y a toujours une méthode préférable aux autres pour résoudre un problème donné.
17. La résolution, par l'élève, d'un problème nouveau constitue une bonne méthode d'acquisition d'une connaissance nouvelle.
18. L'enseignant doit rectifier les erreurs des élèves le plus rapidement possible.
19. Il n'y a vraiment apprentissage que lorsque l'élève est parvenu par lui-même à surmonter un obstacle à la connaissance.
20. Les erreurs des élèves constituent des informations précieuses que l'enseignant doit utiliser dans l'élaboration de son dispositif pédagogique.

QUESTIONNAIRE RELATIF À LA FORMATION REÇUE EN DIDACTIQUE

Question 1

Quels éléments de la formation en didactique des sciences physiques avez-vous réinvesti cette année dans votre classe, ou pensez-vous réinvestir par la suite ?

Vous répondrez en utilisant, en face de chacun des items ci-dessous, le code suivant :

? Je ne comprends pas de quoi il s'agit.

0 Élément avec lequel je ne suis pas d'accord ou sans intérêt.

1 Élément intéressant mais trop difficile à mettre en application.

2 Élément intéressant que j'essaierai d'appliquer le cas échéant.

3 Élément très intéressant que je n'ai pas encore pu appliquer mais que j'utiliserai.

4 Élément que j'ai essayé d'utiliser mais que je n'ai pas suffisamment su maîtriser.

5 Élément que j'ai essayé et dont les premiers résultats me satisfont.

- Prise en compte des représentations et/ou conceptions des élèves pour construire une séquence d'enseignement
- Prise en compte des conceptions et modes de raisonnement dans les corrections d'exercices
- Correction des exercices en prenant appui sur les erreurs des élèves et non pas sur un "corrigé-type"
- Mise en œuvre d'une démarche scientifique avec formulation d'hypothèses puis construction d'expériences-tests
- Mise en œuvre de travaux pratiques relativement ouverts (au cours desquels les élèves peuvent prendre des initiatives, faire des choix)
- Construction d'une progression personnelle et cohérente à partir d'un programme
- Mise en œuvre d'une démarche de modélisation ou d'utilisation d'un modèle
- Articulation d'un cours ou d'un T.P. autour d'une question clairement formulée aux élèves
- Introduction de notions comme outils rendus indispensables par la situation avant d'en faire des objets d'étude
- Utilisation en classe du débat scientifique
- Mise en œuvre de travaux de recherche, de réflexion ou de documentation en petits groupes
- Mise en œuvre de travaux d'auto-évaluation ou de correction d'exercices en petits groupes
- Élaboration ou transformation d'un modèle scientifique en vue de son enseignement
- Mise en œuvre d'une démarche de résolution de problème
- Report de l'introduction des éléments théoriques (formules, calculs) après réalisation d'une étude approfondie de la situation physique
- Prise en compte des difficultés des élèves
- Réutilisation d'outils élaborés ou communiqués au cours de la formation
- Explicitation et communication aux élèves des objectifs visés par la séquence d'enseignement
- Utilisation de procédures de régulation au cours de l'enseignement (recours à l'évaluation dans le but de réguler le fonctionnement de la séquence)
- Conception et réalisation d'une séquence prenant appui sur une situation-problème
- Conception et réalisation d'une séquence prenant appui sur un objet technique de la vie courante ou connu des élèves
- Mise en œuvre distincte, dans la pratique en classe, de l'évaluation formative et de l'évaluation sommative
- Transposition, adaptation d'un objet d'enseignement au niveau des élèves

- Élaboration d'une séquence d'enseignement fondée sur une démarche faisant référence à une pratique sociale déterminée (recherche, industrie, vie domestique etc.)

Question 2

À la suite de votre formation en IUFM, avez-vous changé certains de vos points de vue

- sur les sciences physiques ? (si oui, lesquels et pourquoi ?)
- sur l'enseignement des sciences physiques ? (si oui, lesquels et pourquoi ?)
- sur la didactique des sciences physiques (si oui, lesquels et pourquoi ?)

Question 3

Avez-vous, cette année au cours de votre stage en responsabilité, ressenti des difficultés liées à votre situation de stagiaire, qui vous ont gêné ou empêché d'appliquer certains éléments de la formation en didactique ? (si oui, lesquelles ?)

Question 4

Si vous deviez porter un jugement sur la didactique, seriez-vous tout à fait d'accord (+2), plutôt d'accord (+1), plutôt pas d'accord (-1), pas du tout d'accord (-2), avec les propositions ci-dessous

La didactique...

- m'aide à faire des choix.
- m'aide à répondre aux questions que je me pose.
- m'amène à me poser beaucoup de questions.
- m'a permis de comprendre le sens des sciences physiques.
- tend à imposer un point de vue sous des prétextes "scientifiques".
- m'a beaucoup déstabilisé(e) ce qui finalement est bon.
- m'a beaucoup déstabilisé(e) ce qui n'est pas bon pour moi.
- m'a permis de démarrer différemment dans le métier d'enseignant.
- c'est du verbiage.
- m'a permis de prendre conscience de problèmes importants pour moi.
- m'a obligé à remettre en cause des habitudes ou des certitudes.
- ne m'a pas convaincu(e).
- m'a beaucoup intéressé(e).
- c'est intéressant mais peu applicable dans la pratique.
- c'est trop difficile.
- pose plus de questions qu'elle n'apporte de réponse.

QUESTIONNAIRE RELATIF AU TRAVAIL SUR LE MÉMOIRE

Question 1

Pensez-vous que le travail sur le mémoire a une utilité? Précisez.

De votre point de vue, quelles sont les principales qualités d'un bon mémoire?

Quels éléments de la formation en didactique ont été mobilisés? dans quels buts? à quels moments? avec quels effets?

Question 2

Exprimez votre avis sur les propositions suivantes en indiquant 0 pas du tout, +1 un peu, +2 moyennement, +3 beaucoup.

Le travail sur le mémoire professionnel m'a conduit...

- à m'interroger sur la discipline enseignée.
- à m'interroger sur les méthodes d'enseignement.
- à m'interroger sur les difficultés des élèves.
- à m'interroger sur ma propre pratique.
- à modifier mon point de vue sur les élèves.
- à modifier ma façon de préparer les séances d'enseignement.
- à modifier des contenus d'enseignement.
- à modifier ma pratique en classe.

Le travail sur le mémoire m'a permis...

- de me familiariser avec la didactique de ma discipline.
- de me familiariser avec les recherches sur l'enseignement.
- de mieux me préparer à l'exercice de mon métier.

QUELLES CONCEPTIONS DE LA MOTIVATION ONT LES ENSEIGNANTS DE BIOLOGIE ?

Faouzia Kalali

Dans le cadre d'une thèse de doctorat de didactique des disciplines nous nous sommes intéressée aux conceptions des enseignants relatives à la motivation. Ces conceptions sont à l'origine des choix des situations et des moyens d'apprentissage. Nous présentons ici les résultats obtenus à la suite d'une enquête par questionnaire menée auprès de 116 enseignants de biologie. Nous appuyant sur l'examen des théories et des différentes acceptations de la motivation, et partant de l'hypothèse que les enseignants ont le plus souvent une conception commune de cette dernière, nous avons cherché à savoir ce que représente effectivement la motivation pour les enseignants, et ce qu'ils mettent en place pour motiver. De cette enquête il ressort que les conceptions des enseignants relatives à la motivation dépendent de l'approche pédagogique privilégiée par chacun, des conceptions sous-jacentes de la biologie, et traduisent leur manque de contrôle sur la donnée de la motivation. Les stratégies didactiques de motivation exigent en effet des compétences de planification et de programmation rarement dispensées lors de la formation au métier d'enseignant.

les actions
pédagogiques
dépendent des
représentations
de la motivation

“Les actions que nous entreprenons, que cela soit au sein d'une relation pédagogique ou à finalité thérapeutique semblent dépendre étroitement de la manière dont nous nous représentons les motivations des personnes auxquelles s'adressent ces actions.” comme le dit Daniel Favre (1996).

Cette importance de la motivation dans la classe est aujourd'hui établie, de nombreuses théories cognitives de l'apprentissage (1) accordent une place centrale à la motivation à côté des autres composantes pédagogiques : connaissances antérieures, stratégies d'apprentissage, caractéristiques de l'activité, etc.

ces
représentations
relèvent du sens
commun

Nous nous sommes intéressée aux conceptions des enseignants relatives à la motivation, parce que nous pensons qu'elles relèvent du sens commun, que les enseignants placent la motivation uniquement au niveau des réactions premières du sujet (intérêts premiers, questionnements préalables, préoccupations personnelles), et qu'il leur est facile de penser la motivation en terme d'absence – “les élèves ne sont pas motivés” – cela laisse entendre que la motivation est une donnée personnelle de l'élève qui relève de causes profondes (sociologiques, psychologiques, psychanalytiques) considérées le plus souvent comme extérieures à

(1) Quelques ouvrages de synthèse sont présentés dans la bibliographie : A. Mucchielli, 1992 ; R. Viau, 1994 ; A. Lieury et F. Fenouillet, 1996.

la classe, et sur lesquelles l'enseignant n'a donc généralement pas de prise. En même temps il s'agit de cerner les besoins des enseignants pour développer le "savoir" qu'ils possèdent sur la motivation. Ce savoir est déterminant pour la mise en place de véritables stratégies didactiques qui accroissent la motivation à l'apprentissage des élèves dans les différentes disciplines (2).

1. LA MOTIVATION SCOLAIRE : ASPECTS THÉORIQUES

la motivation,
terme courant
en pédagogie
et rare
en didactique
des sciences

Le terme de motivation est l'un des plus fréquemment utilisés en pédagogie au point qu'il s'est banalisé et a même perdu de son sens. En didactique des sciences, il est rare. L'esprit de la recherche est resté fidèle à la tradition cartésienne : plus centrée sur les contenus, la didactique s'est essentiellement préoccupée de la question du "sens" des savoirs scolaires, laissant la motivation au soin de la pédagogie. L'examen des théories qui sous-tendent des conceptions pédagogiques de la motivation va permettre de voir ce que l'on propose comme "savoir officiel" sur la motivation, et d'aborder les apprentissages scientifiques (en particulier celui de la biologie) (3).

1.1. Deux grandes conceptions pédagogiques de la motivation

- *Les conceptions pédagogiques qui situent la motivation au plan du "vouloir"*

deux grandes
conceptions
pédagogiques
de la motivation
qui
correspondent
à deux
dynamiques
d'apprentissage

Les conceptions pédagogiques qui se placent au plan du "vouloir" (4) considèrent la motivation d'un point de vue affectif. La dynamique de l'apprentissage est tantôt placée dans l'objet d'étude : la motivation est considérée comme une force qui attire le sujet (méthodes attrayantes, récompenses), ou tantôt placée dans le sujet qui apprend : la motivation est considérée comme une poussée qui part du sujet (pédagogies de l'intérêt, du désir).

Dans le premier cas c'est la facette de la motivation qui caractérise le processus "enseigner", lequel favorise le savoir

-
- (2) Kalali, F. (1997). *Étude et analyse des stratégies de motivation dans l'enseignement et la vulgarisation de la biologie*. Thèse de doctorat de didactique de biologie, Université Paris 7, 266 p.
 - (3) Pour un exposé plus complet du cadre théorique le lecteur peut se référer à la thèse (note 2), ou à l'article de l'auteur "Procédé d'accroche ou élément accompagnateur de l'apprentissage ? Vers une approche didactique de la question de la motivation" (à paraître).
 - (4) Nous empruntons à H. Bastien (1964) la définition de "vouloir" : "se pencher sur le réel et le désirer dans un effort de possession..." (p. 159).

(J. Houssaye, 1993 & 1996). La motivation de l'élève prend le sens de *l'adhésion à la transmission du savoir* et se produit par des comportements dont on attend la manifestation.

une dynamique
d'action...

L'enseignement attrayant, comme son nom l'indique, se situe dans la conception qui considère la motivation comme une force qui attire le sujet. L'idée de baser l'enseignement sur l'attrait remonte à Montaigne et à des précurseurs dans l'antiquité comme Platon. Montaigne recommandait de ne présenter la science à l'enfant qu'une fois son appétit éveillé. Cet éveil passait par l'activité propre de l'enfant, ce qui lui a valu d'être considéré comme l'un des précurseurs, à côté de J.-J. Rousseau, de l'enseignement actif. Ce qu'on reproche à cet enseignement c'est qu'il ne conduit pas au véritable intérêt pour l'étude. Considérant la motivation de l'élève à l'apprentissage comme étant uniquement le résultat de l'attrait de l'objet d'étude, il permet aux élèves de consommer la forme et de rejeter le fond.

...jouant sur
l'attrait des
situations
d'apprentissage :
processus
"enseigner" ...

Quand l'attrait de l'objet se révélait insuffisant, les pédagogues ont joué sur les récompenses et les punitions pour sensibiliser l'élève. Ici on se réfère à la théorie de l'apprentissage de Skinner (5) (1968). Cette théorie explique que le comportement et donc l'apprentissage sont déterminés par les renforcements positifs (récompenses) et négatifs (punitions). Ces punitions et ces récompenses conduiraient l'individu à éviter des situations et à en chercher d'autres. Kozéki en 1985 a défini trois styles idéaux de motivation basés sur les préférences des enfants vis-à-vis des récompenses et des punitions administrées par les adultes et portant respectivement sur les domaines affectif, cognitif et moral. Ainsi, les manifestations des enseignants d'ordre affectif, d'acceptation et d'approbation, développent chez l'élève un style idéal de motivation qui se caractérise par la passion de plaire aux adultes, et l'anxiété de ne pas bien faire ou de manquer d'initiative. Les parents ou les enseignants qui administrent des récompenses pour les compétences intellectuelles développent chez l'élève un deuxième style idéal de motivation essentiellement cognitif, et qui se caractérise par le plaisir dans la compétition et un désir de suivre ses intérêts. Le dernier style idéal de motivation correspond aux renforcements des comportements moraux (règles et conventions sociales). Entre ces trois styles idéaux de motivation existent des styles intermédiaires. Bien que les styles de motivation dépassent la simple approche béhavioriste S → R en tenant compte des expériences et des tempéraments des élèves, il n'en demeure pas moins que le seul motif privilégié est le désir de plaire, ce qui réduit la palette aux motivations essentiellement extrinsèques à l'élève.

(5) Cette théorie s'appuie sur le modèle S → R comme une boîte noire, connaissant les stimulations (S) nous pouvons prévoir les réponses (R).

... ou jouant sur l'implication de l'apprenant processus : "former"

Quand la motivation est considérée comme une poussée qui part du sujet, il s'agit de la conception qui rappelle par certaines formes la facette de la motivation qui caractérise le processus "former". Celui-ci s'articule de façon privilégiée sur l'axe professeur-élève (J. Houssaye, 1993 & 1996). La motivation prend le sens d'*implication* et s'appuie essentiellement sur les besoins fondamentaux des élèves.

La pédagogie de l'intérêt place la dynamique du côté du sujet qui apprend. L'intérêt est fondé sur la satisfaction des besoins de l'enfant, besoin à connotation physiologique (besoin de se nourrir, besoin de se vêtir, et besoin de travailler en harmonie avec la collectivité) dans l'École Nouvelle. Ici les fondements théoriques tirent leur source de la psychologie des intérêts qui a tenté d'étudier et de classer/catégoriser les intérêts des enfants. De Herbart, James, à Dewey, Claparède, on a tenté de classer les intérêts des enfants d'abord de façon artificielle du médiat à l'immédiat, du spontané à l'artificiel, ensuite de façon plus vivante, du simple au complexe, du concret à l'abstrait, du subjectif à l'objectif, etc. Le reproche que l'on peut avoir à l'égard de la pédagogie de l'intérêt est qu'elle n'a pas essayé de dépasser l'intérêt premier par respect pour l'enfant.

D'autres courants pédagogiques aux tendances plus sociales se sont intéressés aux besoins sociaux (Mc Clelland : besoins d'accomplissement, d'appartenance, et de puissance), au désir mimétique (basé sur l'imitation à l'école) et au désir de connaissance.

• Les conceptions pédagogiques qui placent la motivation au plan du "connaître"

une dynamique de réussite...

Les conceptions qui se situent au plan du "connaître" (6) considèrent la motivation dans l'interaction dynamique du sujet et de l'objet. La dynamique de l'apprentissage n'est à chercher ni dans le sujet qui apprend, ni dans l'objet d'étude, mais dans les conditions au sein desquelles se déroule l'apprentissage. Dans ce cadre, la motivation est envisagée selon une dynamique de réussite. Les conceptions situées au plan du "connaître" montrent l'influence d'une approche cognitive de la motivation dont les caractéristiques sont : les interactions qui lient l'élève à son environnement et qui ne placent l'origine de la motivation ni dans l'objet d'étude ni dans l'organisme (besoin, désir, etc.), le choix d'une activité ou d'une tâche qui témoigne de la participation consciente du sujet à son apprentissage (et non d'une simple habitude mécanique), et l'atteinte d'un but qui confère une direction et une finalité de type cognitif à cet apprentissage (au lieu d'une diminution de tension de type physiologique). Nuttin (1980) est un représentant de cette approche cognitive. Son modèle de la motivation stipule que l'individu ne fait pas que répondre aux stimuli, il s'assigne

(6) Nous empruntons à H. Bastien (1964) la définition de "connaître" : "assimiler le réel et le transformer..." (p. 159).

des buts et élabore des projets pour leur réalisation. De plus, il ne perçoit et ne connaît pas seulement les objets du monde dans lequel il vit, il se prend aussi lui-même comme objet de sa propre connaissance. Il construit des buts nouveaux et tente d'aller au-delà de ce qu'il vient d'atteindre. Cette dimension cognitive fait que l'individu approuve ou désapprouve les résultats de ses actions. Il s'évalue, se juge et règle son activité sur les buts fixés. Ici on parle de projet (Nuttin), de perspective future (Nuttin et Lens, 1983 cité par Viau, 1994).

...mettant
l'accent sur
le projet cognitif
de l'apprenant
processus
"apprendre"

En pédagogie, les conceptions situées au plan du "connaître" renvoient à la facette de la motivation qui caractérise le processus "apprendre", lequel favorise le rapport élève-savoir (J. Houssaye, 1993). Certains courants pédagogiques abordent la motivation par ce que nous pouvons appeler le biais du "*comment apprendre ?*". Montrer à ceux qui sont engagés dans une formation intellectuelle ou manuelle comment mentalement ils peuvent s'y prendre pour la bien conduire est l'essence de la motivation ; à partir du moment où leur est décrit le processus mental permettant d'en acquérir la maîtrise, les élèves manifestent leur motivation par leur soin à le mettre en œuvre (A. de La Garanderie, 1991). Les pratiques en usage sont celles de la gestion mentale (A. de La Garanderie), du contrat, de l'enrichissement instrumental (R. Feuerstein), etc. D'autres courants pédagogiques abordent la motivation par le biais du "*vers quoi ?*" de l'apprentissage. La dimension du temps est ici essentielle pour comprendre et gérer la motivation scolaire. Le rôle du futur y apparaît décisif. L. Not (1987) parle de dimension prospective dans laquelle nous trouvons le projet d'action éducative, le projet pédagogique, et le projet de soi.

1.2. Recherche de motivation et apprentissages scientifiques

Les réformes instaurées depuis 1950 (référence à la vie quotidienne), 1968 (enseignement par problème), 1970 (activités d'éveil scolaire), fixent l'esprit général de l'enseignement scientifique : simple, concret, et pratique. Ces critères sont, selon les sources pédagogiques générales, les garants d'une culture scientifique et technique qui assure la recherche de *motivation et le soutien de l'intérêt* de l'élève (B.O. n° spécial du 9 juillet 1987), et, selon les recherches didactiques, les garants de la fonctionnalité des apprentissages et de l'autonomie de l'élève qui s'inscrivent dans la *quête du sens* (S. Johsua et J.-J. Dupin, 1993).

À la base des activités d'éveil scientifique à l'école primaire se trouvent les activités fonctionnelles, le tâtonnement expérimental, la communication interactive, l'expression personnelle. Les activités d'éveil scientifique reposent sur des phases d'investigation et de construction des notions par résolution de problèmes réels en situation d'autonomie. La

deux spécificités
distinguent
les apprentissages
scientifiques :
les finalités...

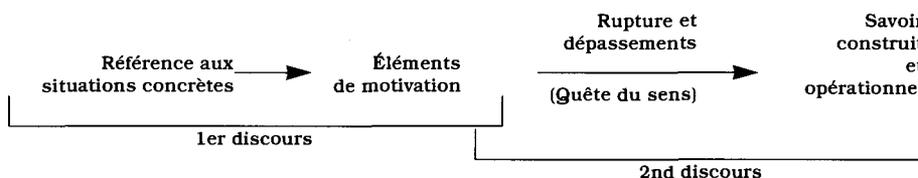
phase d'investigation est la phase de l'éveil de l'intérêt, de la curiosité, de la motivation. Elle est l'occasion de mettre en place des situations concrètes de libre investigation et enrichies par des activités fonctionnelles. La phase de structuration est la phase de construction du savoir par dépassement des réactions premières (questions, observations, attitudes) révélées au cours de la première phase. La motivation située en phase d'investigation est pensée pour elle-même. Les activités fonctionnelles, le besoin d'exploration se situent dans le prolongement des jeux et de l'activité propre de l'enfant. Ces formes de recherche de la motivation sont préalables et appartiennent à la conception pédagogique du vouloir.

L'initiation expérimentale, mise en place au collège par le texte de 1968, invite à l'emploi d'une méthodologie active qui articule l'étude des fonctions au milieu de vie, qui permet d'avoir *"des problèmes dynamiques et d'actualité qui intéressent les élèves"*, et qui laisse le choix initial de l'étude à l'élève et au maître. L'inquiétude scientifique, née de la difficulté qui permet de poser un problème scientifique, impose sa recherche dans un cadre d'étude interdisciplinaire. Ainsi la liaison enseignement/problème repose sur des fondements épistémologiques et psychologiques. Les propos de Bachelard (1938) *"...toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique"* rappellent une prise de position similaire d'ordre pédagogique : *"Toute leçon doit être une réponse"* (J. Dewey). Toutefois la notion de problème a chez Bachelard une signification constructiviste : *"les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique."* Par contre la méthode du *"problem solving"* que préconise Dewey est loin des modèles constructivistes actuels de résolution de problèmes. Le *"problem solving"* est pensé en terme de continuité et non en terme de rupture. Motiver les élèves revient à provoquer chez eux une insatisfaction, en introduisant des problèmes et donc des données troublantes. Cela les stimulera à chercher une solution afin de retrouver l'équilibre de l'espace vital. La circulaire de 1968 associe déjà les deux termes de problème et de motivation, mais c'est le B.O. n° spécial 3 du 09/06/1987 qui fixe l'articulation motivation/problème. Dans ce dernier texte l'enseignement par problème est considéré comme une forme de recherche de motivation et du soutien de l'intérêt de l'élève : de critère d'apprentissage, le problème devient moteur.

...et les
particularités
de la pensée
scientifique :
détachement
par rapport
au détail,
à l'affectif...

Les formes de recherche de motivation en pédagogie générale et en pédagogie des sciences sont justifiées par utilité pédagogique (sensibilisation, meilleure gestion de la classe...) dans l'une, et dans l'autre par nécessité d'apprentissage (fonctionnalité des apprentissages, autonomie, etc.). Par ailleurs, on perçoit deux types de discours selon que l'on a affaire à des sources pédagogiques générales ou spéciali-

sées. Le premier discours, plus axé sur l'utilité pédagogique, donne une grande importance à la motivation, mais la conçoit comme une finalité à atteindre en dehors et sans référence au contenu. Le second discours, didactique, plus axé sur les nécessités d'apprentissage, considère la motivation comme un préalable dont il faut partir mais qu'il faut vite dépasser pour l'acquisition d'apprentissages scientifiques signifiants. La connaissance présuppose le doute, le manque, elle repose sur un fonctionnement intellectuel et non sur une simple préoccupation personnelle. Les deux discours n'opèrent pas comme une alternative, c'est-à-dire, deux attitudes entre lesquelles il faut choisir, mais comme deux phases d'un même processus investies par deux domaines de recherche pédagogique et didactique :



la motivation se trouve située en amont de la didactique

Située plus en amont par rapport à la quête du sens, la motivation de l'élève demeure perçue dans la continuité des problèmes concrets et des réactions premières du sujet qu'il faut dépasser par rupture pour construire un savoir opérationnel.

1.3. Vers une approche didactique de la motivation

à propos de la question du "sens"

Quand on parle du sens, on se situe plus volontiers dans une perspective constructiviste ; il s'agit du sens d'une situation dans laquelle des individus sont en interactions entre eux et/ou avec des objets. Le problème du sens concerne les conditions d'appropriation par l'élève du savoir et son réinvestissement dans des situations nouvelles. Mathy (1993) considère que les savoirs susceptibles de donner du sens sont ceux qui permettent à de futurs adultes une autonomie et une maîtrise suffisante de leurs vies individuelle, sociale et professionnelle.

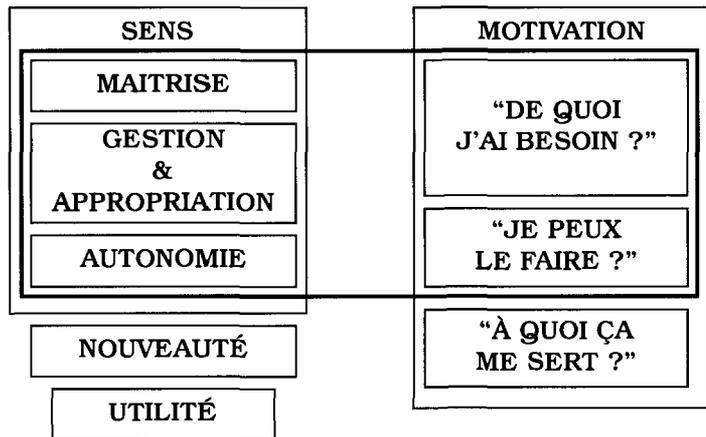
à propos de la question de la "motivation"

La question de la motivation est plus liée à un sujet ; on parle de la motivation d'un individu ou d'un groupe d'individus. Trois axes d'intérêt principaux se dégagent des tendances cognitivistes actuelles dans le domaine de la recherche de la motivation scolaire et nous les formulons en terme d'élève comme : "À quoi ça me sert ?", "De quoi j'ai besoin pour le faire ?", et "Est-ce que je peux le faire ?". Le premier axe d'intérêt correspond à la valeur des activités d'apprentissage et d'enseignement, ce qui requiert la nécessité de stimulation par la nouveauté, l'intérêt suscité, et correspond à la dimension sociale de l'apprentissage. Le second axe traduit une demande de renseignements opératoires (en relation avec la situation) et optionnels (autour de la situa-

tion). Il requiert une nécessité de maîtrise des apprentissages et correspond à la dimension cognitive de l'apprentissage. Le dernier axe est un aboutissement des deux précédents. L'élève cherche à savoir s'il ne risque pas l'échec en s'engageant dans une activité. Cet axe montre la nécessité d'une sécurisation de l'élève et d'une mise en confiance et correspond à la dimension affective de l'apprentissage. Ces formulations sont selon nous superposables en partie aux formulations de la quête du "sens" comme le montre la figure 1.

Figure 1. Superposition des problèmes de sens et de motivation

les deux questions de sens et de motivation expriment deux regards différents sur une même réalité



Les deux questions de sens et de motivation se recourent aux niveaux de la maîtrise des apprentissages et de la mise en confiance de l'élève. Une approche fonctionnelle de la motivation est de la considérer en rapport avec le contenu. Dès lors que l'on pense la motivation de l'élève au sein des réflexions qui portent sur les concepts et les conditions d'acquisitions de ces derniers, on cherche nécessairement à définir et à construire des stratégies didactiques de motivation. Les trois axes d'intérêt formulés en terme d'élève :

- "À quoi ça me sert ?"
- "De quoi j'ai besoin ?"
- "Je peux le faire ?"

deviennent, en terme de dispositif de motivation (voir tableau 1) :

- stratégie didactique de stimulation,
- stratégie didactique de maîtrise,
- stratégie didactique de mise en confiance.

trois types de stratégies didactiques permettent de cerner la réalité de la motivation

Tableau 1. Les trois domaines de la motivation et les stratégies didactiques correspondantes (cas de la biologie)

Domaines	Stratégies didactiques
Social Intérêt Utilité	Stimulation Partir du concret Proposer des contenus en fonction des intérêts des élèves Montrer l'utilité de l'activité présente (en relation avec la vie quotidienne) et future (en relation avec une profession) Introduire le cours par des problèmes d'actualité
Cognitif Compétence Maîtrise	Maîtrise Permettre à l'élève le choix dans l'organisation du travail Organiser le cours selon des situations de résolution de problèmes Instaurer un contrat du travail Leur apprendre un plan de travail
Affectif Confiance Image de soi	Confiance Expliquer les critères d'évaluation Introduire un matériel de niveau de difficulté franchissable Instaurer des situations de coopération Dédramatiser l'évaluation

Ayant montré l'existence de deux catégories de conceptions de motivation, tributaires de deux dynamiques d'apprentissage qui ont dominé tour à tour la pédagogie, et explicité quelle serait une approche didactique de la motivation, nous passons à l'objet de cet article : les conceptions de la motivation des enseignants de biologie.

2. DÉROULEMENT DE L'ENQUÊTE

sur le plan théorique, la motivation présente une diversité des sens, sur le plan méthodologique, elle présente des difficultés de repérage

Si l'on souhaite s'intéresser aux conceptions de la motivation dont disposent les enseignants alors même qu'ils évoluent dans leurs classes, on se heurte à des difficultés de repérage et d'identification de ce qui, parmi les différents moyens pédagogiques, est de l'ordre de la motivation. Les moyens de motivation demeurent des astuces propres à chacun et dont l'enseignant ne cherche pas généralement à formaliser le contenu. Quand il est enclin à le faire, le terme de motivation paraît dégager un sens *a priori* clair, et sur lequel tout le monde semble s'accorder, au point que l'enseignant ne cherche pas à préciser ce qu'il y met. On touche là aux problèmes de validité des données recueillies lors des observations de classe. Des travaux récents (Keller, 1987) tentent de construire des modèles de cette pratique de la classe. Cependant le modèle A.R.C.S. (7) de Keller reste lié à

(7) La désignation ARCS renvoie respectivement à des stratégies de motivation par l'attention (A), la pertinence (R), la confiance (C), et la satisfaction (S).

la théorie qui le fonde ce qui limite son application si l'on adopte une théorie différente de la motivation.

relever plutôt
des tendances
et des catégories
de réponses
en rapport avec
des indicateurs
bien précis

Nous avons fait le choix de réaliser des entretiens et des questionnaires auprès des enseignants de biologie. L'avantage des entretiens et des questionnaires est de permettre aux enseignants de s'exprimer à propos de leurs pratiques et de formaliser ce qui peut sembler implicite et difficile à appréhender lors d'une observation de classe. Néanmoins, le risque d'un écart entre ce que l'enseignant dit et ce qu'il fait effectivement dans sa classe subsiste, et le risque d'un désaccord implicite sur le sens du terme de motivation demeure présent entre enquêteur et enquêtés. Par cette enquête nous cherchons à relever plutôt des tendances (les enseignants disent utiliser un moyen de motivation plus qu'un autre) ou des catégories de réponses en rapport avec certains indicateurs (précisés dans le second paragraphe) qui pourraient renseigner sur les conceptions de la motivation.

2.1. Entretiens

Nous avons commencé par effectuer en 1995 des entretiens avec 10 étudiants de DEA de didactique de biologie à Paris 7. Ces étudiants sont des enseignants de biologie exerçant dans des lycées, des collèges ou à l'IUFM. Les entretiens se sont déroulés aux horaires et dans la salle d'un cours du DEA. Ils étaient conduits de façon libre autour des questions : *"Faut-il s'intéresser à la question de la motivation de l'élève en classe ? Que pouvez-vous dire sur la question d'après votre pratique ? et que pouvez-vous dire à propos de vos motivations scolaire et professionnelle ?"*

À partir de cette consigne de départ, nous sommes partie de trois sujets principaux pour une première analyse thématique. Il s'agit de relever :

- ce qu'est la motivation ;
- ce que les enseignants disent utiliser comme moyens en classe pour motiver ;
- ce que les enseignants pensent de leurs propres motivations scolaire et professionnelle.

Ces trois thèmes nous ont servi de base pour une première lecture. Il s'agit de relever les propos qui reviennent fréquemment dans le discours des enseignants, et qui peuvent constituer des éléments constants qui renseignent sur leurs conceptions et leurs pratiques. Nous nous sommes référé au travail de tutorat de A. Biolluz (1995), sous la direction de A. Weil-Barais, qui porte sur l'élaboration d'un questionnaire à partir d'un relevé thématique d'entretiens menés auprès des enseignants. La transcription des entretiens a fourni une vingtaine de pages comme base de travail. Au cours de la lecture nous avons noté les idées essentielles qui ressortent et qui peuvent renvoyer à l'un ou à l'autre des thèmes principaux. Nous avons relevé par exemple des idées en relation avec : la responsabilité de l'enseignant, le pro-

des entretiens
ont fourni
les bases pour
l'élaboration...

blème de cerner la motivation en classe, de guider le choix dans le travail d'une discipline, de stimuler au travail, etc. Ceci a permis de mieux spécifier les catégories thématiques précédentes. Par exemple, à propos, du thème : "ce que mettent les enseignants en place pour motiver", il semble nécessaire de préciser les sous-thèmes : ce qui est difficile ou rend difficile l'utilisation des moyens pour motiver, ce que requiert la gestion de la motivation en classe, l'intérêt de motiver, etc.

2.2. Questionnaire

Les entretiens, puis un préquestionnaire, nous ont permis d'élaborer un questionnaire définitif destiné aux enseignants de biologie du secondaire (classes de lycée). Nous avons distribué au hasard le questionnaire à 250 enseignants d'une population de plusieurs centaines, venus de tout le territoire et réunis à l'occasion d'un colloque de l'A.P.B.G. (8) en 1996. Nous avons eu un retour de 116 questionnaires. Les enseignants enquêtés sont majoritairement des femmes (81 %). En effet la population initiale compte 771 femmes sur un total de 972 enseignants, selon les statistiques des organisateurs de l'A.P.B.G. Plus de 40 % des enquêtés ont plus de 50 ans. Leurs expériences s'échelonnent de 2 à plus de 30 années. L'échantillon compte deux retraités.

Les questions sont au nombre de onze le plus souvent à choix multiples, se répartissant selon quatre thèmes :

... d'un questionnaire permettant de collecter les conceptions de la motivation qu'ont les enseignants

- l'importance de la prise en compte de la motivation scolaire de l'élève dans la pratique quotidienne de l'enseignant ;
- les pratiques et les moyens motivants ;
- les problèmes de motivation et les besoins des enseignants en outils ;
- la motivation professionnelle des enseignants.

Le questionnaire a servi de base à une double analyse des données. Chaque proposition étant une variable, l'analyse statistique devra fournir la fréquence de chacune des variables. Pour l'analyse sémantique nous avons considéré que pour définir une conception de la motivation, quatre indicateurs sont essentiels. Il s'agit de l'échelle du temps (le cours ou le long terme) à laquelle est perçue la motivation, du type (stimulation, maîtrise, confiance) auquel renvoie le moyen de motivation, de l'acteur principal impliqué (élève, enseignant, institution) et du sens même de motivation. Nous avons cherché à caractériser ces critères pour chacun des thèmes considérés (absence de motivation, intérêt de la question, moyens de motivation, motivation professionnelle des enseignants).

(8) Nous remercions à cette occasion les organisateurs du colloque de l'A.P.B.G. de l'aide qu'ils nous ont accordée pour passer et recueillir les questionnaires.

3. RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE

Dans le contexte de cet article nous ne pouvons discuter les résultats en détail que pour les trois premiers thèmes, et non pour l'ensemble ou pour chacune des questions.

• **1er thème : l'importance de la motivation scolaire dans la pratique des enseignants**

La question de la motivation fait partie de la pratique quotidienne des enseignants. 92 % disent utiliser des procédés dans le but de motiver l'élève.

Question : Utilisez-vous des procédés de motivation dans votre enseignement de biologie ?

1 **oui** **non**

Pour quelles raisons ?

- 2** Parce que vous ne pouvez rien contre l'absence de motivation de l'élève
- 3** Parce que la motivation facilite l'apprentissage de l'élève
- 4** Parce que vous ne voyez pas l'utilité de motiver l'élève
- 5** Parce qu'il est facile d'enseigner à des élèves motivés
- 6** Parce que de toute façon, il est difficile de prendre en compte la motivation des élèves
- 7** Parce que vous êtes vous-même motivé
- 8** Parce que le problème ne se pose pas
- 9** Autres propositions :

Réponses

<u>Propositions</u>	<u>Effectif</u>	<u>pourcentage</u>
3 Facilité de l'apprentissage	105	91 %
7 Motivation de l'enseignant	86	74 %
5 Facilité de la pratique enseignante	77	66 %
6 Difficulté de la prendre en compte	12	10 %
2 Absence de motivation contre laquelle on ne peut rien faire	2	2 %
8 Le problème ne se pose pas	2	2 %
4 Pas d'utilité	0	0 %

Les propositions ci-dessus ont été fournies aux enseignants pour déterminer les raisons qui appuieraient l'utilisation (items 3, 5, 7) ou la non utilisation (items 2, 4, 6, 8) des moyens de motivation. On voit d'emblée que les propositions qui expriment une non utilisation sont très peu choisies.

le recours à la motivation semble consacré par l'usage

L'examen des pourcentages montre deux chiffres frappants : 91 % d'enseignants évoquent la raison de facilité d'apprentissage de l'élève, aucun enseignant (0 %) ne retient l'inutilité de la prise en compte de la motivation. On perçoit un discours d'évidence où motivation va de pair avec efficacité (utilité et facilité). Le recours à la motivation semble consacré par l'usage : des raisons (exemple items 2, 6) sont également évoquées par certains enseignants pour justifier l'utilisation des procédés de motivation.

• **2ème thème : les moyens de motivation
que les enseignants disent utiliser**

Nous avons cherché à connaître les moyens pédagogiques que les enseignants disent utiliser pour développer la motivation dans l'apprentissage en biologie, et les thèmes biologiques d'étude qui sont motivants ou qui suscitent une motivation chez l'élève. Dans cette question l'ensemble des propositions, largement inspirées des travaux de Keller, regroupe en nombre égal des moyens de motivation appartenant aux trois catégories suggérées dans le paragraphe 1 : stratégies de stimulation (items 12, 16, 15, 18), stratégies de maîtrise (items 11, 10, 13, 14), stratégies de confiance (items 17, 19, 20, 21).

Question : Quels moyens utilisez-vous (ou utiliserez-vous) pour motiver les élèves à la biologie ? (Quatre réponses possibles : beaucoup (BP), assez (AS), pas du tout (PDT), sans opinion (SO))

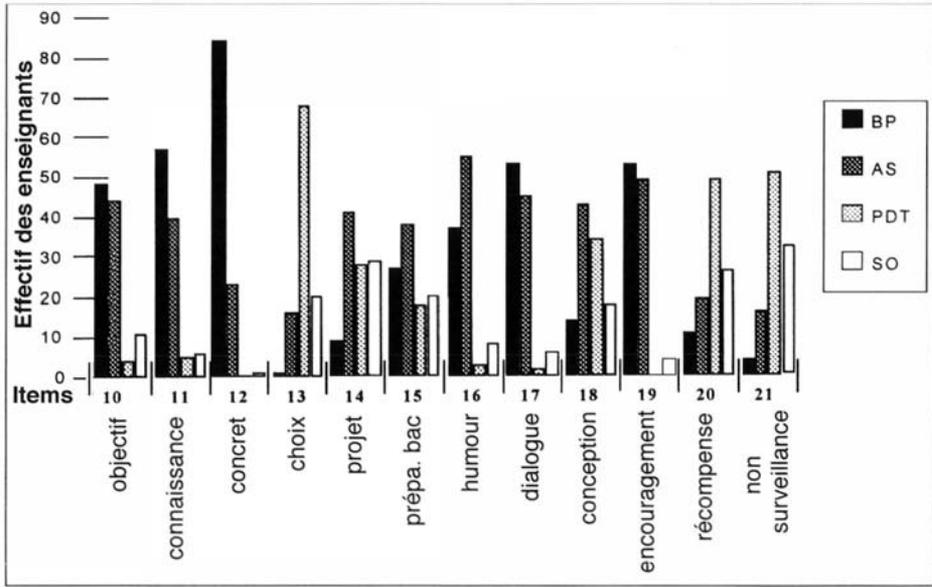
- 10** Vous communiquez et clarifiez à l'élève les objectifs pédagogiques de chaque leçon
- 11** Vous précisez à l'élève les connaissances exigibles en fin d'apprentissage
- 12** Vous illustrez votre cours par des exemples concrets
- 13** Vous laissez l'élève choisir librement les modalités d'apprentissage
- 14** Vous mobilisez ou créez chez l'élève un projet en rapport ou non avec la biologie
- 15** Vous insistez sur l'importance de la biologie dans la préparation du bac
- 16** Vous utilisez l'humour
- 17** Vous êtes à l'écoute de l'élève et vous instaurez un dialogue avec lui
- 18** Vous jouez l'avocat du diable pour perturber les préconceptions de l'élève
- 19** Vous donnez des encouragements
- 20** Vous récompensez les élèves pour les tâches ennuyeuses
- 21** Vous évitez la surveillance des élèves
- 22** Autres propositions

les enseignants disent privilégier une approche concrète de la biologie, imposée par la nature même du savoir biologique

Une analyse par item (figure 2), montre que le concret est le moyen que les enseignants disent utiliser le plus fréquemment (item 12 plus coté dans la catégorie beaucoup BP et très faiblement coté dans la catégorie pas du tout PDT). L'illustration du cours par des exemples concrets est présentée par les enseignants comme une nécessité de l'apprentissage. Selon eux, elle s'impose, vu la nature concrète de la biologie. Ensuite vient la présentation des connaissances (item 11), le dialogue (item 17) et l'encouragement (item 19). Les moyens que les enseignants disent utiliser le moins fréquemment sont le libre choix de l'élève (item 13), la non surveillance (item 21), et les récompenses (item 20). Nous pensons que c'est l'âge des élèves et le niveau scolaire qui permettent d'expliquer ces résultats. Les récompenses sont plus propices à de très jeunes élèves. Le choix dans le court terme (choix de documents, choix de modalités de l'apprentissage) est fortement rejeté par les enseignants qui estiment que l'élève n'a pas à intervenir dans ce qui constitue essentiellement leur rôle. Sa participation consistera à élaborer le cours qui sera à recopier : titre, résumé, etc. Sinon le choix des documents reste possible pour les élèves

de Première en raison de leur autonomie. Le rejet de la non surveillance des élèves relève des problèmes de sécurité.

Figure 2. L'importance des différents procédés de motivation



ils privilégient les stratégies didactiques de stimulation et de confiance...

A priori, il apparaît que les moyens utilisés appartiennent indifféremment aux trois types de stratégies, une analyse par catégorie de stratégies permettra de mieux nuancer les résultats (tableau 2).

Tableau 2. Répartition des procédés selon les stratégies de motivation

Catégorie de stratégie	Contenu de l'item	Item	Effectif BP	Effectif AS	Effectif PDT	Effectif SO
Stratégie de Maîtrise	objectifs	(10)	48	44	4	11
	contrat	(11)	57	40	5	6
	libre choix	(13)	1	16	68	20
	projet	(14)	9	41	28	29
		Total	115	141	75	66
Stratégie de Stimulation	concret	(12)	84	23	0	1
	prép. du bac	(15)	27	38	18	20
	humour	(16)	37	55	3	8
	conception	(18)	14	43	34	18
		Total	162	159	55	47
Stratégie de Confiance	dialogue	(17)	53	45	2	6
	encouragement	(19)	53	49	0	4
	récompense	(20)	11	19	49	26
	non surveillance	(21)	4	16	51	32
		Total	121	129	102	68

... et favorisent ainsi les dimensions sociale et affective de l'apprentissage

L'analyse par catégorie de stratégies fait ressortir que la stratégie la plus représentée est celle de stimulation suivie de celle de confiance et enfin de celle de maîtrise. Les enseignants favorisent les dimensions sociale et affective de l'apprentissage.

Les enseignants se sont prononcés également à propos de thèmes biologiques. L'objectif de cette question est de déterminer s'il y a des thèmes *a priori* motivants ou non motivants, les motifs de cette motivation ou non motivation préalable, et les motifs qui développent une motivation. Ici on est dans le domaine particulier de la biologie.

Question : Considérez les thèmes d'étude suivants. Lesquels sont d'après vous motivants pour les élèves, au début ou en fin de présentation du chapitre ?

(5 réponses possibles : au début, en fin, pas du tout, sans opinion, commentez éventuellement votre réponse)

- 23** La communication animale
- 24** La sauvegarde de l'individu et de l'espèce
- 25** Le peuplement des milieux
- 26** La production de la biomasse dans les écosystèmes
- 27** Les réseaux trophiques
- 28** Le sol, le milieu vivant
- 29** Le cycle de la matière
- 30** L'amélioration de la production de biomasse
- 31** La protection des milieux et des cultures
- 32** L'évolution des milieux sous l'influence de l'homme
- 33** La formation et l'exploitation des ressources géologiques

les thèmes biologiques *a priori* motivants renvoient au plan d'organisation éthologique...

Sur onze thèmes présentés, deux sont considérés comme *a priori* motivants. Il s'agit de la communication animale (item 23) et les réseaux trophiques (item 27). Ces thèmes renvoient au plan d'organisation éthologique qui favorise une approche concrète et dynamique articulant l'étude des comportements au milieu. La protection des milieux (item 31) et l'évolution des milieux (item 32), le cycle de la matière (item 29) sont motivants après étude. Les enseignants expliquent que l'absence d'idée précise *a priori*, et la découverte d'une notion ou d'un concept en liaison avec d'autres disciplines ou d'autres thèmes sont une des principales motivations de ces thèmes. L'intervention de l'enseignant, par le choix des exemples, par les travaux pratiques et les sorties sur le terrain, peut rendre ces thèmes intéressants. La production de la biomasse dans les écosystèmes (item 26) est un thème qui a été considéré par les enseignants comme pas du tout motivant. Les enseignants expliquent que les thèmes *a priori* rejetés sont ceux qui font appel à beaucoup de calculs, ils se trouvent donc investis de l'image négative des mathématiques. Sont également rejetés les thèmes abstraits (cycle de la matière), ou ceux qui sont loin des préoccupations des élèves et qui donnent une impression de "déjà vu" (production de biomasse). Tous ces thèmes qui renvoient à l'ancien programme de biologie de Seconde sont considérés par les enseignants comme non adaptés aux capacités des élèves. Ils font appel à beaucoup

... les non motivants font appel à des calculs et paraissent, à l'apprenant, abstraits sans aucun lien avec ses préoccupations

de notions nouvelles et complexes, nécessitent un vocabulaire et une attitude scientifiques non encore maîtrisés par les élèves.

• **3ème thème : les problèmes de perte de motivation chez les élèves**

Nous avons cherché à connaître les problèmes de démotivation des élèves et donc la demande que les enseignants disent identifier chez leurs élèves. Il s'agit de vérifier dans le même temps si l'intervention par les moyens précédents est adéquate et relève d'une planification et d'une programmation.

Question : À quoi attribuez-vous les problèmes de démotivation chez l'élève ?

Liste des propositions avec des raisons qui incombent à l'élève (40,39,38), à l'enseignant (43,36), et à l'institution (42,41,37) :

- 36** L'élève ne perçoit pas de liens entre ce qui s'enseigne en biologie et son projet personnel (études universitaires, futur métier...)
- 37** L'élève n'a pas fait le choix de la biologie dans son cursus scolaire
- 38** L'élève a eu un vécu négatif par rapport à la biologie (mauvais résultats, heurts avec les enseignants de biologie...)
- 39** L'élève a un *a priori* négatif vis-à-vis des sciences
- 40** L'élève ne maîtrise pas bien les connaissances biologiques
- 41** Vos interventions se heurtent aux programmes déjà bien établis
- 42** Vos interventions se heurtent aux effectifs élevés et à l'hétérogénéité des classes
- 43** Vous avez des difficultés à cerner ce que recouvre la notion de motivation
- 44** Autres difficultés

Réponses

36 Absence de liens avec le projet de l'élève	75%
42 Hétérogénéité de la classe	60%
40 Non maîtrise des connaissances	44%
37 Mauvaise orientation	36%
39 <i>A priori</i> négatif vis-à-vis des sciences	34%
38 Vécu négatif (histoire personnelle)	30%
41 Programmes	17%
43 Difficultés à cerner la motivation	14%

les problèmes de démotivation en biologie sont essentiellement des problèmes de manque de maîtrise des connaissances

Les problèmes de manque de motivation chez l'élève que les enseignants disent repérer le plus souvent sont de type maîtrise (absence de lien avec le projet personnel de l'élève, non maîtrise des connaissances), ou institutionnels (hétérogénéité des classes). Les causes de perte de motivation sont considérées comme extérieures à leur volonté, elles incombent plus à l'élève et à l'institution (voir encadré ci-contre).

• **Deux conceptions de la motivation**

Si l'on examine les résultats d'analyses quantitative et qualitative, nous notons que selon les enseignants les retombées de la motivation portent sur la facilité de l'apprentissage et sur la perception de la valeur de celui-ci (utilité), facilité et

utilité qui sont perçues dans le court terme. Ceci pose le problème des moyens de motivation qui nécessitent un contrôle à moyen et à long terme, comme ceux de maîtrise. D'ailleurs les enseignants disent privilégier des stratégies didactiques de stimulation (illustration par le concret) alors même qu'ils placent à la source des problèmes de motivation le manque de maîtrise des connaissances et leur absence de lien avec le projet de l'élève. Si ces stratégies leur semblent efficaces pour les problèmes de maîtrise relevés, c'est qu'elles reflètent une certaine conception de la motivation située plutôt dans l'immédiat (concret, utilité), alors que le travail autour du projet exige une temporalité plus longue.

Question : Quelles réflexions sur la motivation de l'élève vous viennent à l'esprit à la lecture de ces questions ?

Réponses des enseignants à propos des moyens de motivation

Les enseignants insistent sur les moyens de mise en confiance (écoute, dialogue, valorisation). Ces moyens leur semblent efficaces contre les problèmes de maîtrise relevés, et correspondent à leur perception de la motivation. Cette dernière est placée dans la catégorie de l'affectif.

Réponses des enseignants à propos du concept de motivation et des difficultés d'usage

Selon les enseignants, la motivation est plus située du côté du sujet-apprenant. Elle est plus liée à son expérience passée, à son vécu. Elle est donc davantage de nature affective et relationnelle. Les enseignants perçoivent la motivation comme étant essentiellement un moyen de *remédiation*. Les difficultés d'usage sont essentiellement des difficultés d'effectif et d'hétérogénéité.

Réponses des enseignants à propos des problèmes de démotivation

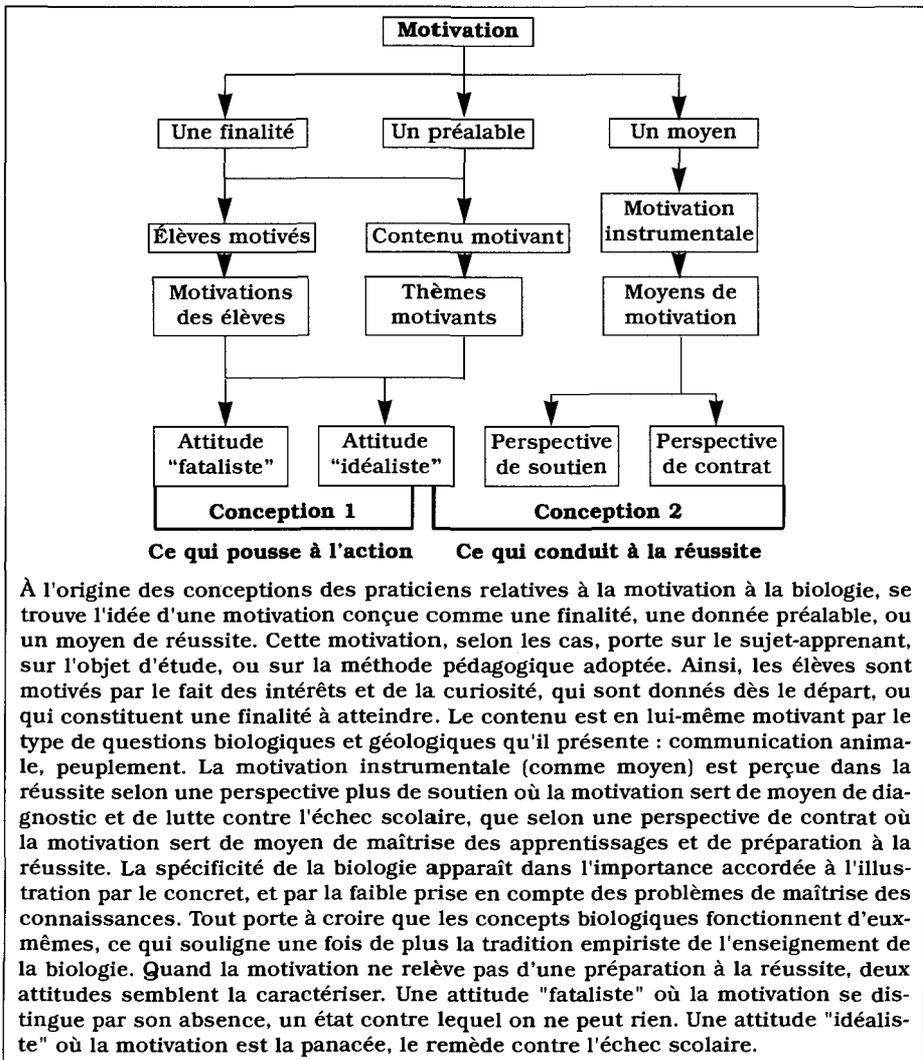
• Le manque de motivation n'est pas propre aux sciences de la vie et de la terre mais touche différentes disciplines, les causes incriminées sont :

- effectif et hétérogénéité des classes,
- organisation de l'emploi du temps,
- manque de moyens pédagogiques,
- manque de maîtrise de la part de l'élève d'outils appartenant à d'autres champs disciplinaires (mathématiques, sciences physiques),
- concurrence des CD ROM et de la télévision,
- problème des débouchés, travail personnel.

• Les problèmes de démotivation directement liés aux sciences de la vie et de la terre sont différents selon qu'il s'agit de la biologie ou de la géologie, du collège ou du lycée, des sections littéraires ou scientifiques. La démotivation est plus forte en géologie car les outils conceptuels qu'elle manipule sont complexes, les échelles de temps et d'espace sont différentes de celles de la vie quotidienne, ce qui renvoie à des difficultés de conceptualisation. La démotivation est également liée à l'image de la biologie. Au collège, la biologie n'est pas valorisée : faible coefficient et horaire restreint. Au lycée, l'enseignement manque d'attrait par rapport au collège. La classe de Seconde, qui marque le passage au lycée, est vécue très difficilement par les élèves. Les notions nouvelles sont nombreuses et complexes, l'apprentissage requiert des outils conceptuels encore mal maîtrisés. Le programme en général (lycée) donne une impression de déjà vu, d'une science finie. Dans les classes TL (Terminale Lettre), le programme est non adapté, le choix de la biologie peut être le résultat du tirage au sort !

Si l'on inclut les résultats d'analyse d'autres matériaux (manuels scolaires), nous retrouvons les deux conceptions pédagogiques : la motivation est ce qui pousse à agir, la motivation est ce qui conduit à la réussite (voir figure 3).

Figure 3. Les deux conceptions de la motivation (cas de l'enseignement de la biologie)



l'écart entre les stratégies didactiques utilisées...

Il y a un écart entre les stratégies didactiques utilisées et les problèmes de motivation diagnostiqués. Cet écart met en évidence le manque de contrôle des enseignants sur la donnée de motivation même si 14 % seulement des enseignants disent avoir des difficultés à cerner le terme de "motivation".

... et les problèmes diagnostiqués révèle le manque de contrôle des enseignants sur la donnée de la motivation

De plus, l'enseignant ne se sent pas responsable. Ce sont les élèves qui manquent de maîtrise de leur apprentissage. Les lacunes, selon les enseignants, remontent aux classes précédentes. L'institution, par l'effectif élevé des classes, les programmes chargés et mal adaptés, et les horaires, est également responsable des problèmes de démotivation. L'usage de moyens de motivation n'obéit pas à une réflexion avec des prises de décisions adéquates.

4. CONCLUSION

la motivation est plus perçue comme la stimulation à... que comme la maîtrise de...

L'enquête réalisée auprès des enseignants de biologie a révélé un grand pourcentage d'utilisation des stratégies de stimulation. La motivation est plus perçue comme la stimulation à... que comme la maîtrise de... Le choix des stratégies de motivation à la biologie est dû en partie aux conceptions sous-jacentes de la biologie. L'illustration par des exemples concrets est justifiée par la nature même de la biologie. L'enquête a révélé également que selon les enseignants, les problèmes de perte de motivation des élèves à la biologie sont essentiellement dus à l'absence de liens avec le projet de l'élève, à des problèmes de maîtrise d'outils intellectuels appartenant à d'autres champs disciplinaires (sciences physiques, mathématiques) et qui permettent à l'élève de comprendre et de résoudre les problèmes biologiques et géologiques posés. Alors que des stratégies de type maîtrise comme l'explicitation des objectifs sont plus propices à la résolution de ce genre de problèmes, les enseignants privilégient la stimulation par le concret. Cette dernière paraît *a priori* nécessaire pour permettre à l'élève de trouver des liens avec un éventuel projet personnel. Cependant, le travail autour du projet relève également d'une élaboration de type cognitive. L'intervention des enseignants est alors inadéquate vis-à-vis des problèmes de motivation soulevés. Cet écart met en évidence le manque de contrôle des praticiens sur la motivation, manque que l'on peut combler lors de la formation au métier d'enseignant.

4.1. Inclure la motivation dans la conduite d'enseignement

Trois critères essentiels apparaissent à l'origine du choix des stratégies de motivation. Il s'agit du critère de l'efficacité, du critère de la participation à la valeur culturelle de l'enseignement, et du critère de dynamique.

- **Le critère de l'efficacité**

Les stratégies de motivation sont pensées en terme de moyen de réussite. Les stratégies choisies doivent permettre de mettre en œuvre des procédés de motivation qui soient efficaces. L'efficacité est perçue dans la réussite scolaire ou

professionnelle, et dans une organisation adéquate du savoir, organisation qui permet justement cette réussite. Différents moyens pédagogiques répondent à ce critère : la présentation des objectifs, le référentiel, ou le contrat, qui permettent de clarifier les situations d'apprentissage et les exigences en terme de connaissances en fin de cycle d'apprentissage.

• **Le critère de la participation à la valeur culturelle de l'enseignement**

trois critères
de choix
des stratégies
de motivation

Depuis les années 50, l'enseignement doit permettre à tous les élèves d'acquérir un savoir scientifique de base et une culture authentique. Les stratégies de motivation doivent permettre de mieux lier les connaissances aux aspects pratiques et à la vie sociale, de faire apprécier les informations et de les réinvestir, et de donner ainsi une valeur éducative à l'enseignement.

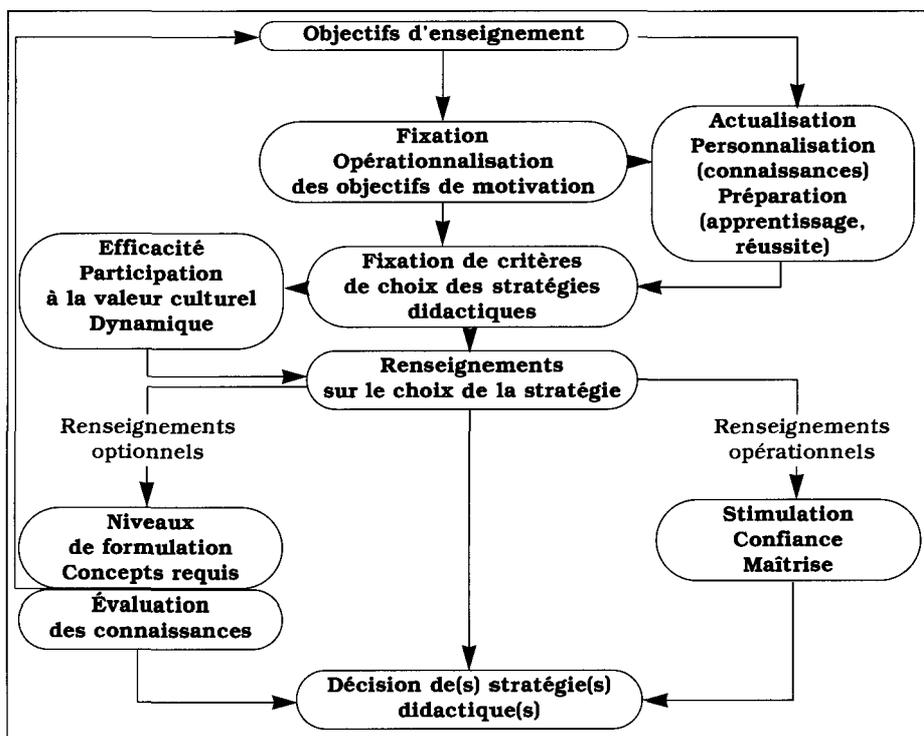
• **Le critère de dynamique**

Longtemps les stratégies de motivation ont justifié l'emploi des méthodes actives. Elles permettent d'éviter une progression mécanique, et mettent l'élève en activité. La définition de la motivation la plus courante est "ce qui pousse à agir". D'ailleurs, c'est sur ces bases d'activité et de manipulation d'objets qu'a été évoquée la motivation en Éducation Nouvelle.

l'énoncé
des finalités
et des objectifs
de l'enseignement
permet dans
le même temps
de dégager les
critères de choix
des contenus
et des stratégies
de motivation

Si l'on examine le choix des contenus scolaires biologiques, Frazer (1975 ; cité in UNESCO, 1979) précise qu'il repose sur trois grands points qui se dégagent des finalités. Il s'agit de l'utilité professionnelle, de l'utilité dans la vie courante, et de la valeur culturelle des connaissances. Les connaissances sont alors réinvesties dans la vie professionnelle, elles contribuent à comprendre les problèmes de santé et de l'environnement, et à acquérir une certaine culture ou savoir fonctionnel. Or, ces grands points rappellent certains critères de choix des stratégies de motivation, cités plus haut. Le critère de l'efficacité des stratégies de motivation, qui permet de mettre en place des moyens pour garantir la réussite, renvoie au critère de l'utilité professionnelle. Le choix des stratégies de motivation, qui repose sur le critère de la participation à la valeur culturelle de l'enseignement, détermine également le choix des contenus. Apparaît alors à travers le choix des contenus un certain nombre de critères indicateurs d'un type de stratégie de motivation que l'enseignement permet de mettre en place. L'énoncé des finalités et des objectifs de l'enseignement permet dans le même temps de dégager les critères de choix des contenus et les stratégies de motivation, et de proposer celles que l'on pourrait mettre en place. On peut ainsi préciser la place qu'occuperait la stratégie de motivation au sein de la conduite de l'enseignement, car l'objectif final demeure un apprentissage (voir figure 4).

Figure 4. La place de la motivation dans la conduite d'enseignement



inclure
la motivation dans
la conduite de
l'enseignement...

La réflexion et la fixation des objectifs de motivation peuvent se faire en parallèle avec celles des objectifs d'enseignement. L'objectif de motivation permettra de préciser les critères de choix des stratégies didactiques qui développent la motivation dans l'apprentissage. Par exemple, le critère d'efficacité fournit des renseignements opérationnels (directement liés aux stratégies) qui précisent le type de stratégies didactiques à mettre en place (maîtrise), et des renseignements optionnels (liés au contexte général de l'apprentissage : niveaux de formulation, concepts requis, évaluation) en accord avec les objectifs d'enseignement.

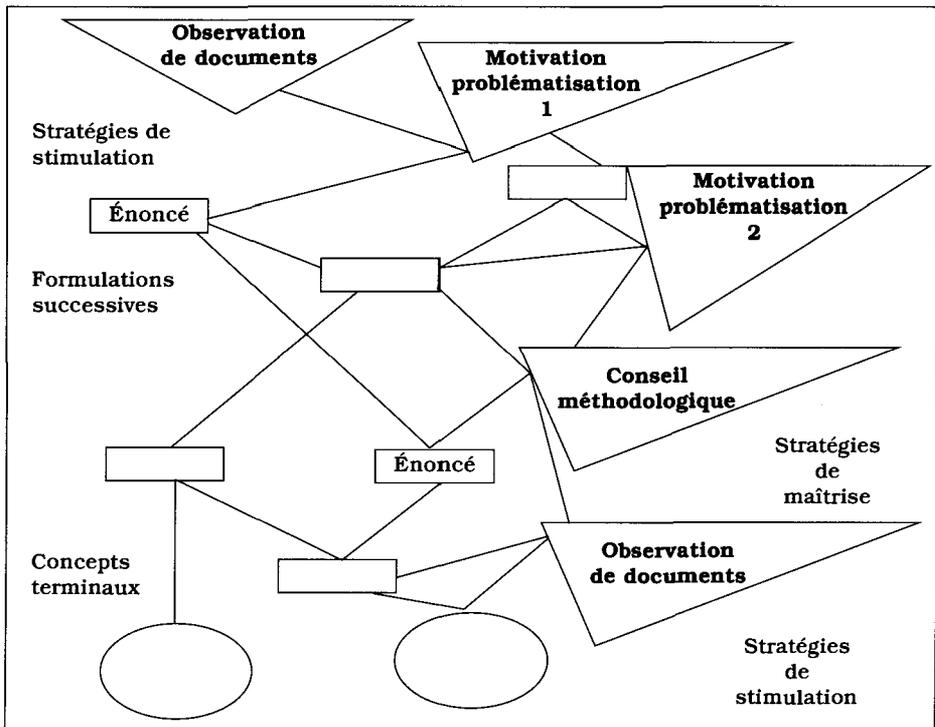
4.2. Inclure la motivation dans les réflexions qui portent sur le contenu

La motivation une fois fixée au sein de la conduite d'enseignement, il devient aisé de l'intégrer à la progression ou au cheminement conceptuel à adopter. De même qu'un concept n'est jamais appréhendé seul, mais au sein d'un ensemble de concepts qui fonctionnent les uns par rapport aux autres (J.-P. Astolfi, 1982), un concept n'a de valeur pédagogique

... dans les réflexions qui portent sur le contenu...

que s'il est associé à des moyens mobilisables au cours de la situation d'apprentissage. La trame conceptuelle a pour fonction d'analyser la matière à enseigner. Elle permet de visualiser les acquisitions des élèves en termes de niveaux de formulation des concepts (voir figure 5). La motivation doit y figurer sous forme de niveaux de motivation (9), accompagnateurs de ces formulations successives (figures triangulaires). Un niveau accompagnateur désigne, soit une stratégie, soit un simple procédé requis comme aide à l'acquisition de tel ou tel niveau de formulation des concepts. Il ne s'agit pas d'une hiérarchisation de la motivation, mais d'une distinction selon les fonctions requises.

Figure 5. Exemple de trame conceptuelle montrant des liens éventuels entre motivation et niveaux de formulation des concepts



- (9) Nous parlons de niveau de motivation, au même titre que de niveau de formulation pour les concepts, car nous sommes dans un modèle constructiviste et nous concevons la motivation comme un construit. Un niveau de motivation désigne une stratégie ou un procédé de motivation nécessaire à un moment donné de la progression.

... et dans
les trames
conceptuelles

Dans une situation didactique (10), la motivation est à construire simultanément comme les concepts. Le premier niveau de motivation est la stimulation, par exemple, par l'observation de documents réels. L'enseignant doit passer ensuite à un autre type de motivation : motivation-problématisation (mise en place d'une situation-problème). Le premier problème est d'abord pratique, il découle des premières questions des élèves. Ces premières questions conduisent à des réponses évidentes (les conceptions). La seconde phase de motivation-problématisation transforme la question pratique en question scientifique qui ne nécessite pas une réponse immédiate, mais une mûre recherche. Dans les phases de formulations successives qui devraient amener l'élève à la réponse recherchée, un second niveau de motivation de type maîtrise s'impose. Il s'agit de montrer à l'élève comment analyser les documents dont il dispose, comment trier les informations de ces documents, comment les synthétiser, etc. La formulation finale du concept doit déboucher sur un autre niveau de motivation de stimulation. Il s'agit de soulever des questionnements sans réponses immédiates. Le problème étudié est envisagé dans d'autres prolongements, par exemple sociaux. Les premiers et les derniers niveaux de motivation sont divergents (Sanner, 1984). La motivation aboutit à des situations d'exploration ouvertes. Les niveaux intermédiaires de motivation sont convergents : la motivation est une aide à l'analyse, à la synthèse des informations qui caractérisent ces étapes intermédiaires de la situation de résolution de problème. Ainsi la motivation accompagne réellement les différentes phases de l'apprentissage. Penser et fixer la motivation au sein de la conduite de l'enseignement et des trames conceptuelles permettent de solliciter des aspects souvent ignorés car mal maîtrisés comme l'aspect cognitif et de le mettre au service de l'apprentissage. Car le problème essentiel de la motivation est plus un problème de maîtrise qu'un problème de manque d'accroche.

Faouzia KALALI
G.D.S.T. Cachan

(10) Nous pouvons l'assimiler à une situation de résolution de problème où les trois figures désignent les trois phases : d'exploration, d'investigation, et de structuration, ou encore l'assimiler au cheminement conceptuel : phase de départ, phases de formulations et d'acquisitions successives, phase de formulation et d'acquisition terminales.

BIBLIOGRAPHIE

- ASTOLFI, J.-P. (1982). "2. Recherche procédures d'apprentissage en sciences expérimentales - 2.1. Présentation de la recherche". *Bulletin d'Aster*, 19, 13-31. Paris : INRP.
- BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- BASTIEN, H. (1964). *La motivation et l'apprentissage*. Montréal : institut pédagogique Saint Georges.
- BIOLLUZ, A. (1995). D'un relevé thématique d'entretiens menés auprès d'enseignants à l'élaboration d'un questionnaire : méthodologie d'estimation de la place et du rôle des travaux pratiques assistés par ordinateurs au lycée, *stage tutoré*. Paris 7.
- FAVRE, D. (1996). "Motivation et affectivité". In Chappaz, G. (dir). *Construire et entretenir la motivation*, Actes de l'université d'été 1995 (pp. 43-71). Marseille : CRDP, Université de Provence.
- HOUSSAYE, J. (1993). "La motivation". In *La pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui* (pp. 223-233). Paris : ESF.
- HOUSSAYE, J. (1996). "Les trois facettes de la motivation". *Sciences humaines, Hors série n° 12*, p. 47.
- JOHSUA, S. & DUPIN, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : PUF.
- KALALI, F. (1997). *Étude et analyse des stratégies de motivation dans l'enseignement et la vulgarisation de la biologie*, Thèse de doctorat de didactique de biologie. Université Paris 7.
- KELLER, M. J. (1987). "Development and use of the ARCS model of instructional design". *Journal of instructional development*, 10, 3, 2-10.
- KOZÉKI, B., ENTWISTLE, N. & POLLITT, A. (1987). "Measuring styles of learning and motivation". *European journal of psychology of education*, II, 2, 183-203.
- LA GARANDERIE, A. de (1991). *La motivation, son éveil, son développement*. Paris : Éditions Le centurion.
- LIEURY, A & FENOUILLET, F. (1996). *Motivation et réussite scolaire*. Paris : Dunod.
- MATHY, PH. (1993). "Construire des cours de sciences qui aient du sens pour les élèves". *Courrier du CETHES*. Namur : facultés universitaires N-D de la paix.
- MUCCHIELLI, A. (1992). *La motivation* (3e édition corrigée). Paris : PUF.

NOT, L. (1987). *Enseigner et faire apprendre. Éléments de psycho-didactique générale*. Toulouse : Privat.

NUTTIN, J. (1980). *Théorie de la motivation humaine. Du besoin au projet d'action*. Paris : PUF.

SANNER, M. (1984). "Modélisation des processus mentaux et pédagogie de la créativité". *Bulletin d'Aster*, 21, 105-144. Paris : INRP.

SKINNER, B. (1968). *La révolution scientifique de l'enseignement*. Traduit de l'américain par A. Richelle. Bruxelles : Éd. Ch. Dessart.

UNESCO, (1977). *Tendances nouvelles de l'enseignement de la biologie*, Vol. IV.

VIAU, R. (1994). *La motivation en contexte scolaire*. Belgique : De Boeck-Wesmael.

L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES EXPÉRIMENTALES EST-IL VRAIMENT INDUCTIVISTE ?

Simone Bomchil
Bernard Darley

Il existe un point de vue, largement répandu, selon lequel l'enseignement des sciences expérimentales en général, et celui de la biologie en particulier, serait fortement imprégné d'inductivisme et de positivisme. Notre propos est de montrer que l'analyse des conceptions qu'ont (ou sont censés avoir) les enseignants de la démarche expérimentale ne peut faire l'économie d'une remise à plat des paradigmes sur lesquels elle se fonde. Une analyse de ces deux termes issus de l'épistémologie, inductivisme et positivisme, permettra de juger de la pertinence de leur utilisation pour décrire ou qualifier les enseignants et l'enseignement des sciences expérimentales. Nous proposerons ensuite un cadre d'analyse dans lequel les principales contraintes caractérisant ce type d'enseignement seront décrites et intégrées dans une approche systémique de ces situations. En nous appuyant enfin sur des données relevées lors de l'observation d'une séquence d'enseignement mettant en scène une résolution "expérimentale" de problème, nous tenterons d'illustrer comment l'enseignement des sciences expérimentales, loin de l'inductivisme "naïf" souvent décrit, peut être réinterprété dans un cadre théorique inspiré (parfois librement) de la logique dogmatique que Francis Bacon dénonçait chez les scolastiques il y a plus de trois siècles.

réinterroger
les paradigmes

Sachant, comme le rappelle G. Gohau (1992), que l'induction pose de nouvelles vérités mais sans que ces dernières puissent prétendre à la certitude, est-il imaginable qu'un enseignement des sciences qui dispense des savoirs généralement présentés aux élèves comme certains puisse s'inspirer d'une épistémologie de l'incertitude ? Peut-on qualifier de positivistes des enseignants et un enseignement qui fondent les savoirs sur l'observation d'objets bien réels alors que le positivisme d'A. Comte nie cette réalité en soi ? L'épistémologie sous-jacente à l'enseignement des sciences expérimentales n'est-elle que le reflet de l'épistémologie des enseignants ou faut-il y voir une résultante de contraintes multiples insérées dans un principe d'économie ?

Voici quelques-unes des questions que nous nous proposons de discuter et que nous tenterons d'illustrer par un exemple d'analyse de séquence d'enseignement ; l'objectif de notre propos étant de montrer que les contraintes auxquelles tout enseignant est soumis pèsent très lourdement sur les "choix" épistémologiques qui semblent caractériser l'enseignement expérimental et concourent à la mise en

place d'un modèle qui sera d'autant plus résistant qu'il est particulièrement bien structuré.

1. L'INDUCTIVISME ÉPISTÉMOLOGIQUE

Pour introduire cet article, nous aimerions commencer par faire une mise au point sur une certaine idée de l'induction dite "naïve" popularisée en didactique principalement par les références faites à Karl Popper (1973) et Alan Chalmers (1976).

Popper définit l'induction comme "*une inférence qui passe d'énoncés singuliers tels que les comptes rendus d'observation ou d'expérience, à des énoncés universels, tels des hypothèses ou des théories*" (K. Popper, 1973, p. 23). L'observation, origine des énoncés singuliers, doit donc être première et indépendante de toute théorie préalable.

Popper et Chalmers réfutent le caractère opératoire de l'induction comme pratique susceptible de faire évoluer la science. Leur argument majeur est l'impossibilité constitutionnelle de cette pratique à proposer des énoncés universels. En effet, si le croisement de nombreuses observations permet de faire apparaître une régularité quant à l'apparition d'un phénomène donné – la blancheur du plumage des cygnes pour reprendre l'exemple favori de Popper, ou celui des corbeaux noirs pour Chalmers (1) – elle interdit, par sa définition même, de prétendre que tous les cygnes sont blancs tant que l'on n'a pas constaté le fait jusqu'au dernier cygne existant. Compte tenu des mutations toujours possibles, la loi ne sera définitivement fondée qu'à la mort du dernier cygne. "Tous les cygnes étaient blancs" est la seule loi que l'on pourrait tirer d'une telle pratique d'investigation. La pratique elle-même est dénoncée comme fallacieuse ; une observation "pure", détachée de toute référence à un modèle théorique, n'aurait aucun sens. Seule l'existence préalable d'un modèle théorique peut intégrer l'observation dans son domaine de validité et la rendre porteuse d'informations. Voilà, très brièvement résumé, l'essentiel de la présentation de l'inductivisme faite par ces deux auteurs.

Lorsque l'on parle d'induction il est fait, en général, appel aux mânes de Francis Bacon, d'Auguste Comte et de Claude Bernard. Or, si ces trois auteurs (dont il faudrait replacer la

l'induction naïve
selon K. Popper et
A. Chalmers

-
- (1) On peut, à cette occasion, s'interroger sur le choix de ces exemples de la part de physiiciens. Tous les cygnes sont-ils blancs ? Tous les corbeaux sont-ils noirs ? N'y avait-il que la biologie pour leur offrir d'aussi mauvais exemples ? Si la blancheur de tous les cygnes ou la noirceur de tous les corbeaux (et non des cygnes ou des corbeaux) est un problème scientifique pour K. Popper ou A. Chalmers, il n'en est certainement pas un pour les biologistes ; tout au plus y verra-t-on un caractère (parmi d'autres) pour identifier l'espèce désignée. De là à en tirer un modèle ou une théorie...

pensée dans son contexte historique) font effectivement référence à l'induction, aucun d'entre eux ne la définit d'une manière aussi caricaturale.

l'induction
ambiguë
de F. Bacon

Bacon, bien au contraire, dénonce "cette sorte d'induction qui procède par voie de simple énumération (qui) n'est qu'une méthode d'enfants, qui ne mène qu'à des conclusions précaires, et qui court les plus grands risques de la part du premier exemple contradictoire qui peut se présenter" pour, à l'inverse, vanter "l'induction vraiment utile dans l'invention ou la démonstration des sciences et des arts (qui) fait un choix parmi les observations et les expériences, dégagant de la masse, par des exclusions et des réjections convenables, les faits non concluants ; puis après avoir établi un nombre suffisant de propositions, elle s'arrête enfin aux affirmatives et s'en tient à ces dernières". (*Novum Organum* in R. Blanché p. 41). Bacon, en pourfendeur du syllogisme, ne pouvait dire explicitement qu'un modèle théorique devait guider l'observateur, mais quoi d'autre peut lui permettre de faire ces choix qui "dégagent de la masse" les informations pertinentes ?

La pensée d'A. Comte est trop souvent réduite à sa définition de la science positive : "partant de faits observables définis relativement à l'observateur, les lois naturelles sont établies dans la constante subordination de l'imagination à l'observation" (1835). Définition apparemment limpide qui entérine le primat de l'observation sur l'imagination. Mais qui se complique quelque peu lorsque Comte ajoute : "Si d'un côté toute théorie positive doit nécessairement être fondée sur des observations, il est également sensible, d'un autre côté, que, pour se livrer à l'observation, notre esprit a besoin d'une théorie quelconque. Si en contemplant les phénomènes nous ne les rattachions point immédiatement à quelques principes, non seulement il nous serait impossible de combiner ces observations isolées, et, par conséquent, d'en tirer aucun fruit, mais nous serions même entièrement incapables de les retenir ; et, le plus souvent, les faits resteraient inaperçus à nos yeux." (A. Comte, 1835, p. 32).

Claude Bernard a, lui aussi, une définition intéressante de l'induction : "On définit l'induction en disant que c'est un procédé de l'esprit qui va du particulier au général (2), tandis que la déduction serait le procédé inverse qui irait du général au particulier (3). Je n'ai certainement pas la prétention d'entrer dans une discussion philosophique qui serait ici hors de sa place et de ma compétence ; seulement, en qualité d'expérimentateur, je me bornerai à dire que dans la pratique, il me paraît bien difficile de justifier cette distinction et de séparer nettement l'induction de la déduction. Si l'esprit de l'expérimentateur procède ordinairement en partant d'observations particulières pour remonter à des principes, à des lois ou à

-
- (2) Raisonnement qui est défini, dit-il plus loin, comme propre aux sciences expérimentales.
(3) Raisonnement qui serait, lui, propre aux mathématiques.

C. Bernard refuse
la distinction
entre induction
et déduction

des propositions générales, il procède aussi nécessairement de ces mêmes propositions générales ou lois pour aller à des faits particuliers qu'il déduit logiquement de ces principes. Seulement quand la certitude du principe n'est pas absolue, il s'agit toujours d'une déduction provisoire qui réclame la vérification expérimentale (4). (...) Les principes ou les théories qui servent de base à une science, quelle qu'elle soit, ne sont pas tombés du ciel ; il a fallu nécessairement y arriver par un raisonnement investigatif, inductif ou interrogatif comme on voudra l'appeler. (...) l'induction a dû être la forme de raisonnement primitive et générale, et les idées que les philosophes et les savants prennent constamment pour des idées a priori, ne sont au fond que des idées a posteriori. (...) De tout cela je conclurai que l'induction et la déduction appartiennent à toutes les sciences. Je ne crois pas que l'induction et la déduction constituent réellement deux formes de raisonnement essentiellement distinctes." (C. Bernard, 1865, p. 78-81).

Il ressort de ces citations, comme de l'ensemble des textes que nous avons pu lire concernant les principaux auteurs scientifiques se réclamant de l'induction, ou catalogués comme tels, que nulle part nous n'avons trouvé de définition aussi simpliste que celles données par A. Chalmers et K. Popper. On est donc en droit de s'interroger sur la pertinence qu'il y a à faire référence à un modèle que personne ne revendique et qui ne semble curieusement exister qu'au travers du procès qui lui est fait.

2. L'ENSEIGNANT DE SCIENCES EXPÉRIMENTALES : POSITIVISTE ET INDUCTIVISTE ?

A.Comte
conçoit
l'inductivisme
dans une vision
idéaliste du
monde

Le qualificatif de "positiviste", souvent employé comme synonyme "d'inductiviste", est fréquemment donné aux enseignants de sciences expérimentales pour caractériser leur conception de la science (É. Orlandi 1991, G. Robardet 1995). Si l'on donne à ce terme celui que souhaitait en donner son créateur, A. Comte, il faudrait alors considérer que les enseignants des sciences expérimentales ont une vision idéaliste de la science. A. Comte définit en effet le passage de l'esprit métaphysique à l'esprit scientifique (ou positif) comme le passage de l'idée d'un monde qui existe en soi, d'un monde que l'on peut, à la fois, connaître et appréhender (vision réaliste du monde), à l'idée d'un monde qui n'a d'autre réalité que la constance des relations qui lient les phénomènes entre eux (les lois naturelles), toute autre spéculation relevant de la métaphysique (A. Comte, 1835). Le positivisme, tel que le définit A. Comte, est donc indissociable d'une vision idéaliste d'un monde qui n'a pas d'exis-

(4) On n'est pas très éloigné, ici, de la conjecture "popperienne".

inductivisme ne
rime pas toujours
avec
positivisme...

tence en soi en dehors de celle que nos sens veulent bien lui attribuer (je vois cet arbre, mais existe-t-il "réellement" en dehors de la perception que j'en ai ?). Or d'autres analyses (J. Désautels 1989 ; B. Darley, 1993 ; G. Robardet 1995) décrivent ces mêmes enseignants comme plutôt réalistes (5), en accord avec l'idée que c'est bien l'objet étudié qui fonde la connaissance et rejetant vivement l'idée que c'est, selon les canons même de l'idéalisme positiviste, la connaissance qui fonde l'objet. Et si, comme l'écrit J. Largeaut (1984 a et b) *"réalisme et idéalisme s'opposent terme à terme, l'un affirmant ce que l'autre nie"*, le qualificatif de positiviste paraît alors bien mal adapté pour désigner la vision qu'ont les enseignants des sciences expérimentales.

Une autre des caractéristiques du positivisme citée par S. Johsua et J.-J. Dupin (1993) est de fonder l'objet par sa mesure. Là encore cette définition prend du sens dans une vision idéaliste de l'objet qui n'a pas d'existence en soi et que l'on ne peut définir que par ses caractéristiques accessibles aux sens, dont la mesure. Mais dans l'optique réaliste qui serait celle des enseignants, la mesure ne fonde pas l'objet puisque ce dernier existe en soi ; la mesure va donc caractériser l'objet (et non le fonder) et permettre une appréhension quantitative des phénomènes étudiés. On peut donc mesurer des objets et utiliser ces mesures sans pour autant s'inscrire dans un modèle positiviste de la science.

... surtout
dans une
vision réaliste
du monde

Si positivisme et inductivisme sont compatibles dans une vision empiriste-idéaliste de la science (les savoirs se construisent à partir des observations mais ne sont que des inférences "fonctionnelles" qui permettent d'expliquer le monde mais sans jamais le connaître réellement), par contre positivisme et inductivisme deviennent incompatibles si "l'inducteur" a, du monde, une vision réaliste (les savoirs sont inférés d'observations faites sur des objets bien réels et conduisent à la connaissance du monde).

Que les enseignants aient une conception de la construction des connaissances dans les sciences expérimentales où l'induction joue un rôle important semble assez bien ressortir des enquêtes citées précédemment. Mais une induction empirique, fortement imprégnée de réalisme qui n'aurait donc pas grand-chose à voir avec le positivisme et sa vision idéaliste du monde, et probablement pas aussi naïve que celle décrite par K. Popper et A. Chalmers.

(5) Ce terme de "plutôt" met un bémol à un qualificatif qui ne s'applique pas à la totalité des cas ; certains enseignants pouvant apporter des réponses apparemment contradictoires faisant qu'on peut les classer, en fonction des items proposés, dans l'une ou l'autre de ces catégories (voir B. Darley 1993).

3. L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES EXPÉRIMENTALES EST-IL INDUCTIVISTE ?

Des enseignants pour lesquels l'induction empirique est à la source des connaissances font-ils pour autant un enseignement dont les modalités pourraient être qualifiées "d'inductivistes" ?

Commençons par faire comme si la définition de l'induction proposée par Popper était pertinente et voyons comment elle peut s'appliquer à la pratique enseignante, à défaut de pouvoir l'appliquer à la construction des savoirs scientifiques. Pour mettre sa pratique en accord avec sa conception de la construction de ces savoirs, un enseignant "inductiviste" devrait procéder, avec ses élèves, à un nombre d'observations suffisamment conséquent pour que ces derniers puissent en inférer les prémices du modèle en jeu dans l'apprentissage. Les conclusions des cours de sciences devraient alors être rédigées sous la forme d'une induction généralisante du type suivant : "le phénomène observé s'étant reproduit à l'identique à chacune des n observations effectuées, on peut en inférer que la relation qui les relie est la suivante...". Nous n'avons pas souvenir d'avoir vu, ni jamais rien lu à propos de telles pratiques d'enseignement.

l'induction naïve
ne s'applique
pas à
l'enseignement
des sciences

Peut-on alors, dans les limites de cette définition, définir comme inductive la pratique (plus courante) consistant à proposer aux élèves une observation ou une expérimentation "prototypique" (S. Johsua et J.-J. Dupin, 1993, p. 217) dont on va immédiatement inférer le modèle qui aura, la plupart du temps, valeur de savoir universel ? L'induction se réduirait-elle à tirer une inférence à partir d'un événement singulier ? Si la réponse est oui alors nous ne sommes plus dans le modèle Popper-Chalmers.

Samuel Johsua et Jean-Jacques Dupin en proposent une redéfinition, réduisant l'induction à la procédure pédagogique qui permet "*de passer 'le plus vite possible' des 'faits' à 'la loi', en s'appuyant sur la 'rigueur', sur 'l'observation' et surtout sur les 'mesures'*" (S. Johsua et J.-J. Dupin, 1993, p. 215). Si l'induction consiste à partir des faits pour argumenter l'inférence, la procédure décrite par ces deux auteurs en fait incontestablement partie. Mais si l'inférence est rendue crédible par la référence aux faits, peut-on cependant dire qu'elle permet de dépasser le cas singulier et atteindre une certaine universalité autrement que par un ajout dogmatique du type : "puisque j'observe ceci et que je considère que c'est représentatif de l'ensemble de la classe des phénomènes de ce type, j'en conclus que...". On a alors affaire à une procédure qui est essentiellement justifiée par une inférence déductive très classique, au moins en biologie : "je vois que, or je sais que, donc...". Déduction dont on peut contester (et dont on contestera) la construction mais qui, en tout état de cause, est au moins aussi éloi-

la déduction
revisitée par
l'empirisme

gnée du raisonnement inductif qu'elle peut l'être de la logique formelle appliquée dans toute sa rigueur.

4. RÉANALYSER LA PRATIQUE ENSEIGNANTE POUR LA REDÉFINIR

une pratique plus complexe qu'elle ne paraît

Si ces qualificatifs "d'inductivistes" et de "positivistes" ont eu le mérite de permettre de poser les bases d'une telle analyse, ils nous paraissent aujourd'hui plus contraignants qu'heuristiques. Cette querelle sur les mots peut paraître stérile. Nous pensons, au contraire, qu'elle est représentative de la difficulté à désigner une pratique plus complexe qu'elle ne paraît de prime abord. Le problème, au-delà de la simple description de cette pratique, est de comprendre ce qui peut l'expliquer (ce qui permettra peut-être de la nommer) et d'analyser les conséquences qu'elle peut avoir sur la représentation que se font les élèves de la construction des connaissances en sciences expérimentales. Après avoir tant brandi le flambeau de la contestation il ne nous reste plus qu'à faire des propositions d'analyse qui, nous l'espérons autant que nous le redoutons, seront elles-mêmes vivement contestées.

L'hypothèse que nous proposons est la suivante : comme toute conception celle des enseignants à propos de la construction des savoirs scientifiques repose à la fois sur la formation qu'ils ont eue et qu'ils retransposent et sur un principe d'économie (elle donne satisfaction dans son utilisation courante et reste peu coûteuse tant du point de vue praxéologique que du point de vue cognitif). Si l'idée, attrayante à plus d'un titre, que les savoirs se fondent sur les faits est admise comme principe de fonctionnement et renforcée par nombre de vulgarisations de l'histoire des sciences alors elle devrait transparaître dans la pratique enseignante.

Comme les contraintes institutionnelles auxquelles est soumis l'enseignant ne lui permettent pas de multiplier les activités productrices de faits, ce dernier va utiliser, comme le décrivent S. Johsua et J.-J. Dupin (1993), un fait ou une situation productrice de faits pouvant être mis en relation directe avec l'énoncé du savoir. L'apparence de rigueur dans l'inférence produite est donnée par une transposition du syllogisme sous la forme de l'aphorisme suivant : "je vois que, or je sais que, donc je conclus que...".

un enseignement logico-dogmatique

Ainsi, tout en privilégiant l'énoncé du fait (je vois que) l'enseignant donne une forme très "déductive" à son raisonnement, renforçant ainsi son apparente rationalité. Sûr de son savoir (je sais que) et de la qualité de son observation, la conclusion ne peut que s'imposer. Il en sera de même pour les élèves qui prendront conscience, à leur tour, que les faits fondent bien le savoir puisqu'ils constatent bien les pre-

miers sans pouvoir remettre en cause ce dernier. Procédure où l'induction laisse place à une logique de déduction. Ce qui nous rapproche davantage de la logique dogmatique des scolastiques que de l'induction de F. Bacon. On en arrive ainsi à une procédure de type "moule en creux" où pour transmettre aux élèves une épistémologie fortement imprégnée par l'empirisme et l'induction on a recours à une pratique fondée sur le syllogisme et le dogmatisme.

une erreur de
raisonnement

Le vice du raisonnement vient, bien entendu, de la permutation entre la mineure et la majeure. Dans l'exemple classique du syllogisme, "*tous les hommes sont mortels*" est la majeure *M*. alors que la suivante "*or Socrate est un homme*" est la mineure *m*. Sachant *M*. et constatant *m*. j'applique la règle contenue dans *M*. à *m*. et je peux conclure que Socrate est mortel. Dans la règle de raisonnement citée plus haut "je vois que" prend la place de la majeure (et donc son rôle de primat) alors qu'elle n'est que la mineure ; la majeure étant "je sais que". Mais pour prendre clairement conscience des conséquences de cette inversion il faut être persuadé du fait que l'observation (je vois que) ne prend du sens qu'à l'intérieur des savoirs déjà existants (je sais que). "Je sais que, or je vois que, donc..." prend alors une tout autre signification. Plus qu'une induction molle c'est davantage une impression de déduction dure (à l'image de celle censée être mise en œuvre en mathématique) qui se dégage des enseignements de biologie que nous avons été amenés à observer. Ce type d'enseignement se renforce par le principe d'économie évoqué plus haut. C'est, compte tenu des diverses contraintes identifiables celui qui semble permettre de répondre au mieux à l'idée que se font les enseignants de la construction des savoirs scientifiques. Ce sont ces contraintes que nous allons essayer d'identifier et dont nous tenterons de déterminer quel pourrait être leur rôle dans l'orientation épistémologique d'une séquence expérimentale. Analyse que nous illustrerons par un exemple de séquence qui nous paraît représentatif de la manière de procéder de la majorité des enseignants que nous avons été conduits à observer dans leurs classes.

5. ANALYSE DU CONTEXTE ET ÉNONCÉ DES HYPOTHÈSES À PROPOS DU FONCTIONNEMENT DES ENSEIGNANTS DANS LEURS CLASSES

Comme toute transposition didactique, celle de la démarche scientifique doit tenir compte des caractéristiques de son milieu d'origine et des contraintes du milieu dans lequel elle sera transposée.

Dans son milieu d'origine, celui de la recherche, la démarche scientifique présente trois caractéristiques fortes :

- le temps nécessaire à son élaboration n'est généralement pas compté ;
- le chercheur qui l'élabore n'aura à l'exposer qu'à des pairs pour lesquels le contexte théorique qui lui donne sens est immédiatement mobilisable ;
- c'est une démarche de résolution de problèmes ; le chercheur propose des solutions qui seront, ou non, élevées au rang de savoirs par la communauté.

L'enseignant qui devra transposer cette démarche va se trouver confronté à des contraintes très différentes.

C1. L'expérience personnelle : les enseignants des collèges et lycées n'ont qu'exceptionnellement une expérience personnelle de la recherche scientifique. Comme ils n'ont, par ailleurs, aucune formation à l'épistémologie de leur discipline, ils sont contraints d'enseigner une démarche qu'ils ne connaissent qu'au travers de leur propre expérience de travaux pratiques universitaires. C'est ce que F. Ruel appelle "*leur propre histoire sociocognitive*" (F. Ruel et al., 1997).

C2. Les contraintes institutionnelles : ou, pour faire plus simple, les contraintes liées au respect des Instructions Officielles (programmes et compléments). Soumis à vérification de la part des corps d'inspection, le travail de l'enseignant ne pourra pas diverger des I.O. au-delà d'une distance "raisonnable". Une des constantes de ce même travail sera donc que l'on doit pouvoir y trouver des références explicites à ces I.O. Et les références fréquentes à "l'observation" que l'on trouve dans les programmes de sciences de la vie et de la terre ne peuvent que renforcer l'enseignant dans l'importance qu'il accorde à l'empirisme comme pratique heuristique.

C3. Le contexte scientifique : lorsqu'il souhaite problématiser un enseignement, l'enseignant ne dispose que du concept et jamais (ou bien de manière très anecdotique) de la problématique originale qui a fondé le travail et conduisant à l'énoncé du savoir qu'il doit proposer à ses élèves. C'est donc à partir des réponses plusieurs fois reformulées qu'il doit imaginer un problème qui pourrait en être le point d'origine. L'enseignant dispose des réponses et doit en élaborer les problématiques censées leur donner sens. Sans aucune implication dans l'élaboration de ces savoirs qui lui ont été transmis par des "maîtres", l'enseignant ne sera pas plus enclin à les contester que ne le seront ses élèves lorsqu'il jouera, à son tour, le rôle de maître.

C4. Le temps : le temps du chercheur et le temps de l'enseignant ne sont en rien comparables. Outre le calendrier des programmes qui contraint l'enseignant tout au long de l'année, son temps avec les élèves est aussi contraint par le découpage de l'emploi du temps. Une "manip" doit donc impérativement tenir dans un laps de temps allant d'une à trois heures, au terme desquelles l'élève doit être remis en liberté. C'est, très rapidement exposé, la contrainte de pro-

des contraintes multiples...

grammabilité définie par Yves Chevallard (1991). Cette contrainte va donc l'amener à restreindre le nombre d'exemples qui pourraient légitimer le savoir qu'il a à transmettre pour n'en choisir qu'un et en faire un cas d'espèce.

C5. Les destinataires : on a vu que dans le monde de la recherche les destinataires de la démarche sont des pairs ; ce qui est loin d'être le cas pour l'enseignant du second degré. Les élèves devront être sensibilisés puis initiés au contexte qui donnera sens à la démarche mise en place par l'enseignant. Ce dernier sera dans une position d'autorité suprême qui n'autorisera pas les élèves (même si l'enseignant les sollicite) à porter un jugement critique de fond sur la démarche proposée. C'est toute la difficulté inhérente à la "dévolution" (G. Brousseau, 1986) ou à la "proposition" (S. Johsua et J.-J. Dupin, 1993) du problème. Le temps manquant pour rendre explicite toutes les facettes du problème et les implicites ne pouvant être décodés par les élèves, ces derniers seront contraints d'accepter comme allant de soi un certain nombre de propositions ("on ne peut pas tout redémontrer").

C6. Le statut social des sciences expérimentales : de par leur objet qui est de rendre accessible le monde qui nous entoure, les sciences expérimentales se doivent de s'ancrer dans le concret pour être crédibles auprès des élèves. Dans un concret bien présent que l'on peut voir et toucher. Je veux vous expliquer comment fonctionne un végétal chlorophyllien. Je commence par vous en apporter un sur la table. Un fondement réaliste et une tentation empirique forte pourraient être les caractéristiques premières de l'enseignement des sciences expérimentales. Montrer pour être crédible, puisque la prétention est d'expliquer ce que l'on peut "toucher". Montrer aussi pour se démarquer de l'abstraction des mathématiques. Mais dans cette concurrence avec les sciences exactes, la crédibilité des sciences expérimentales passe également par leur capacité à produire des résultats conformes aux attentes ou aux modèles canoniques. Leur tendance à mimer les sciences exactes dans leur capacité à produire des constantes, fût-ce au prix d'un dévoiement de la pratique expérimentale, pourrait être leur caractéristique seconde. Caractéristique qui se traduira par une utilisation exagérée, et parfois (souvent ?) abusive de la logique formelle en guise d'argument d'autorité, par une tendance à fermer des problèmes ouverts par nature, ainsi que par une rigueur implacable dans la construction de situations entièrement tendue vers un seul but : obtenir les "bons résultats".

C7. L'évaluation des élèves : pas facile d'évaluer la capacité d'un élève à formuler des hypothèses, à élaborer une problématique cohérente, à faire un retour critique sur cette dernière au vu des résultats de l'exploitation des données, à mettre au point un protocole original en réponse à un problème original. Pas impossible, mais pas facile quand même.

... expliquent
un enseignement
scientifique
normalisé

Surtout lorsqu'il s'agira de mettre une note : en référence à quel témoin, à quelle "norme" pourra-t-on se référer pour évaluer sur une échelle de 0 à 20 ? Beaucoup plus facile, en revanche, d'évaluer, voire de noter, le respect de consignes clairement notifiées sur un protocole fourni aux élèves, la distance entre les résultats expérimentaux obtenus et la norme définie par l'enseignant ; ou bien d'évaluer la structuration et la cohérence d'un compte rendu de TP relativement, là encore, à une norme rédactionnelle. Autant de contraintes qui devraient conduire, comme les précédentes, à fermer les situations pour contraindre les élèves dans une procédure normalisée.

C8. Les contraintes matérielles : elles peuvent être évoquées pour justifier la nécessité d'obtenir des "résultats fiables". Sans eux il est impossible d'appliquer le "syllogisme" "je vois que, or je sais que, donc...". Il est ainsi très important, pour l'enseignant qui fonctionne selon le modèle que nous avons décrit, d'obtenir des résultats que les élèves ne pourront contester.

Les conceptions des enseignants sur la science sont à analyser en liaison avec le contexte pédagogique

Notre hypothèse est donc que l'on ne peut analyser les conceptions des enseignants de sciences expérimentales à propos de ces dernières sans prendre en compte leurs propres pratiques pédagogiques et toutes les contraintes qui s'y rattachent, puisque l'essentiel de leurs références en matière de rapport à la science se situent justement dans un contexte pédagogique (6).

C'est ce que nous allons tenter d'illustrer maintenant à partir d'un exemple dans lequel nous essaierons de faire ressortir les conséquences des contraintes énumérées ci-dessus.

6. ANALYSE D'UNE SÉQUENCE D'ENSEIGNEMENT

La séquence analysée porte sur le très classique problème de l'hydrolyse de l'amidon par l'amylase salivaire en classe de Troisième des collèges (élèves de 14 à 16 ans). Cette séquence, choisie pour la simplicité de sa procédure expérimentale et des concepts en jeu, nous permettra d'illustrer notre grille d'analyse.

6.1. Phase de formulation du problème

Le problème choisi par l'enseignant est l'apparition d'un goût sucré lors de la mastication d'un morceau de pain.

Pour contextualiser ce problème, et sans leur révéler la réponse, l'enseignant demande aux élèves, en travail à la maison, de mâcher longuement du pain et de noter le goût qu'il prend.

(6) Que ce soit le contexte de leur formation initiale ou celui de leurs pratiques professionnelles.

Pour orienter les élèves vers le repérage de l'élément énigmatique (l'apparition du goût sucré), l'enseignant, en début de cours suivant, sollicite l'expression des élèves sur leur expérience vécue et, en utilisant son autorité d'enseignant, sélectionne la bonne réponse dès qu'elle est énoncée par un élève.

La nature du problème choisi par l'enseignant est bien adaptée aux instructions officielles puisque sa formulation fait intervenir l'idée qu'il existe un lien entre la présence d'enzyme et la digestion, celle-ci étant considérée comme une réaction chimique (C2).

poser
un problème
ouvert...

Le problème est intégré à une situation concrète qui fait partie de l'univers proche des élèves (C6). Il est également à l'origine de la formulation de plusieurs réponses mais, dans la mesure où l'enseignant ne retient que celle qui l'intéresse pour la suite de la séquence, ces réponses "surnuméraires" apparaissent non comme des éventualités demandant analyse mais plutôt comme des éléments perturbateurs d'un raisonnement dont la rigueur commence à s'esquisser (C6). Que ce soit l'enseignant, qui en définitive fasse intervenir son autorité pour assurer le repérage du goût sucré (loin d'être évident), conduit à exclure l'élève de la formulation du problème ; élève qui se trouve alors très rapidement dépossédé de la question qui lui a été posée (C5). Cette dépossession est justifiée par un souci d'efficacité (le temps) et de rigueur (il faut cadrer le problème). Le problème est reformulé par l'enseignant sous la forme suivante : *"qu'est-ce qui provoque l'apparition du goût sucré lorsque l'on mastique du pain ?"*

6.2. Phase d'élaboration d'hypothèses

La procédure utilisée par l'enseignant pour faire formuler aux élèves la "bonne" hypothèse (la salive à 37 °C transforme l'amidon en sucre) peut être résumée en deux étapes.

... verrouiller le
questionnement...

- **1ère étape** - Fermer le problème à l'origine de la formulation d'hypothèses, en imposant aux élèves de prendre en compte, dans leur proposition, un ensemble de données jugées indispensables par l'enseignant. Ils découvriront progressivement ces données en répondant à une série de questions judicieusement choisies et ordonnées sur une feuille photocopiée à travailler à la maison (C6).

"À partir de ces observations (en fait les réponses à une série de questions), formulez une hypothèse capable d'expliquer le goût sucré pris par le pain à la suite d'une mastication prolongée."

Questions posées par l'enseignant	Fonctions dans l'introduction de la "bonne" hypothèse
<i>"Quelle est la composition du pain? Quel glucide le pain contient-il en plus grande proportion ?"</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Focalisation de l'attention des élèves sur un constituant particulier du pain, l'amidon.
<i>"Qu'est-ce qui a agi sur le pain dans votre bouche ?"</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Introduction de l'idée que quelque chose a agi sur le pain. • Formulation des mots "salive" et, "température". • Liaison des mots "action", "salive" et "température" dans une seule phrase : <i>"La salive et la température de 37°C agissent sur le pain."</i>
<i>"À votre avis sur quel composant du pain agissent-ils ?"</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Formulation du mot "amidon" mais cette fois-ci comme substance sur laquelle agissent la salive et la température. • Liaison des mots "action", "salive", "température" et "amidon" dans une seule phrase : <i>"La salive et la température de 37°C agissent sur l'amidon."</i>
<i>"Quelle pourrait être cette action sur l'amidon ?"</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Formulation par les élèves du groupe de mots "en le transformant". • Liaison des mots "salive", "température", "amidon" et "transformation" dans une seule phrase : <i>"La salive et la température de 37°C transforment l'amidon du pain."</i>

Ainsi se trouve construite, par emboîtement de réponses successives, l'explication du goût sucré attendue par l'enseignant.

• **2ème étape** - Guider les élèves pour trouver les bonnes réponses aux questions posés :

- en ajoutant une série de "sous-questions" qui apportent des informations complémentaires et qui diminuent de plus en plus les possibilités de réponses. La question : *"Qu'est-ce qui a agi sur le pain dans votre bouche ?"* est suivie de la série des "sous-questions" suivantes :

"J'avais mis dans ma question agissent au pluriel...ça veut dire qu'il y en a... ?"

Qu'est-ce qui peut bien agir en plus de la salive ?...

Quelles sont les conditions qui règnent à l'intérieur du corps ?...

Quelle température ?...

La salive et la... ?

La température de... ?" ;

- en sélectionnant parmi les réponses des élèves celles qu'il attend et en ignorant les autres comme le montre le tableau suivant.

... ne retenir qu'une seule hypothèse...

Questions posées par l'enseignant	Réponses sélectionnées	Réponses ignorées
"Quelle hypothèse avez-vous émise ?"	"C'est la réaction de la salive avec l'amidon qui pourrait provoquer le goût sucré."	<ul style="list-style-type: none"> • "Le pain pouvait contenir un peu de saccharose." • "Le glucose doit être un des derniers constituants du pain à être cuit (7) par la salive." • "La salive contient du sucre."
"La salive pourrait agir sur l'amidon du pain en le ... ?"	"En le transformant."	<ul style="list-style-type: none"> • "En le dissolvant." • "En le cuisant." (7) • "En le décomposant."

Ainsi pour l'élève, dans le cas présent, formuler une hypothèse dans le but d'expliquer un phénomène, c'est répondre à une succession de questions et associer dans une seule phrase, de la façon la plus intelligible possible, l'ensemble des réponses à ces questions. Ainsi est bloquée toute expression de la pensée divergente de l'élève et la possibilité qu'il aurait de s'engager dans une analyse personnelle du problème à partir de ses représentations. Là encore le souci d'arriver rapidement (C4) à une formulation "rigoureuse" du problème (au sens où il ne pourra admettre qu'une seule solution, l'hypothèse), justifie la procédure. Mais si cette procédure répond à une rationalité très forte chez l'enseignant, elle s'élabore sans prise en compte de celle de l'élève (C5 et C6).

... pour aboutir à un problème univoque

Pour formuler la "bonne" hypothèse, l'élève est davantage invité, grâce aux questions de l'enseignant, à faire des associations de mots qu'à mobiliser une pensée rationnelle qui lui permettrait de mettre en relation le "fait-problème" (l'apparition du goût sucré) avec ses connaissances antérieures. Comment, dans ces conditions, l'élève pourra-t-il prendre conscience qu'une hypothèse est une proposition d'explication à intégrer dans un système de relations intelligibles ? Une sélection des hypothèses est bien effectuée par l'enseignant parmi les propositions des élèves. Mais cette sélection fait intervenir son autorité et non les critères habituels de sélection auxquels doit être soumise toute proposition pour avoir le statut d'hypothèse scientifique (capacité à être testée expérimentalement et ne pas être en désaccord avec les données déjà disponibles). L'élève est ainsi privé de la prise de conscience de ces critères et de tout le raisonnement déductif qu'ils nécessitent de mettre en œuvre.

- (7) La précision "amidon cuit" a été apportée par l'enseignant dans un souci de rigueur scientifique, faisant référence au fait que l'amylase salivaire n'agit pas sur de l'amidon cru. Cette précision peut s'assimiler à une réponse aux contraintes de type C8, liées au matériel expérimental. Intégrée dans la phrase "digestion de l'amidon cuit par la salive", cuit est interprété par les élèves comme un verbe d'action et non pas comme un adjectif caractérisant l'amidon.

Au terme de cette phase une seule hypothèse est formulée (*“La salive à 37 °C transforme l’amidon cuit en sucre.”*). Pour les élèves, cette hypothèse ne peut être que la “bonne” hypothèse. D’une part, les élèves sont bien conscients de tous les efforts qu’a déployés l’enseignant pour la leur faire énoncer, et d’autre part, ils connaissent bien la *“coutume didactique”* (N. Balacheff, 1987) des TP de biologie qui consiste à ne tester qu’une seule hypothèse puisque c’est la seule rationnellement identifiée comme pertinente. Dans ce contexte, la tâche des élèves dans la phase d’exploitation des données sera de faire en sorte que leurs résultats expérimentaux puissent être mis en correspondance avec l’hypothèse/solution. Si c’est le cas, l’analyse s’arrêtera là et si ce n’est pas le cas, dans la mesure où il n’y a pas d’autre hypothèse plausible proposée, l’élève ne sera pas enclin à remettre en cause l’hypothèse et sa stratégie de mise à l’épreuve, mais uniquement sa façon de manipuler. Ainsi la dialectique faits/hypothèses dans le sens de contestation de l’hypothèse par les faits expérimentaux n’a aucune raison d’avoir lieu et conduit à s’enfermer dans un processus de dogmatisation.

6.3. Introduction de la connaissance à transmettre

La procédure utilisée par l’enseignant a permis de résoudre partiellement le paradoxe inhérent à la transposition didactique de la démarche expérimentale imposée par les instructions officielles. Il y a effectivement bien eu, en début de séquence, formulation de la bonne hypothèse qui n’est rien d’autre que l’objectif de l’apprentissage.

Cependant l’élève n’a jamais été invité à exprimer ses représentations sur ce que signifie la transformation de l’amidon et ses manifestations au niveau de l’observable. L’enseignant lui-même une fois le “bon mot” (transformation) obtenu, n’explique pas la signification de celui-ci. On a là un exemple de ces implicites dont nous parlions en C5.

Quant à la température exprimée dans l’hypothèse, doit-elle être considérée comme une variable ou un paramètre ? Dans un premier temps, dans la phrase bilan construite avec les élèves, la température est présentée comme une variable susceptible d’agir sur l’amidon au même titre que la salive : *“La salive et la température agissent sur l’amidon.”* Mais ensuite, dans la formulation définitive de l’hypothèse énoncée par l’enseignant avant la présentation du protocole expérimental, la température est présentée comme un paramètre : *“La salive transforme l’amidon cuit en sucre et ce à la température de 37 °C.”* Procédure cohérente avec l’hypothèse de la fermeture progressive du problème par l’enseignant (C6).

l’objet de
connaissance
émerge enfin

6.4. Phase d’expérimentation

La procédure de l’enseignant consiste à donner aux élèves une succession de consignes écrites et orales très précises sur la succession des actions à accomplir. L’enseignant

veille avec beaucoup de vigilance à la réalisation du protocole qu'il a conçu en contrôlant la bonne exécution de chaque étape (C8) ainsi que le respect de leur chronologie (C4). Dans le cas présent, expérimenter consiste à appliquer le plus scrupuleusement possible, sans état d'âme, des consignes données par l'enseignant.

l'expérimentation,
faire-valoir de
la connaissance

L'anticipation des résultats expérimentaux n'est pas explicitée. De ce fait ceux-ci ne vont pas apparaître comme des faits que l'expérimentateur a cherché à produire, guidé par l'hypothèse ; ils vont se présenter comme des faits naturels, universels que les actions de l'expérimentateur permettent de révéler. En l'absence de cette explicitation les élèves ne peuvent prendre conscience du rôle de l'hypothèse qui est de diriger la production des faits expérimentaux. La dialectique faits/hypothèses dans le sens de l'hypothèse vers les faits n'est pas mise à jour. Les données expérimentales deviendront des données au sens mathématique, c'est-à-dire des axiomes sur lesquels on pourra fonder un raisonnement déductif (et non plus hypothético-déductif).

Les conditions expérimentales ne sont plus les conséquences d'une émission d'hypothèses auxiliaires sur les facteurs qui peuvent intervenir *in vivo*, et à ce titre discutables. Ce sont ici, des conditions qui apparaissent comme naturellement constitutives de l'expérimentation et, de ce fait, à l'abri de toute critique puisque non maîtrisées par les élèves (C8). Si les résultats ne sont pas conformes ils ne pourront qu'évoquer leur maladresse ou leur manque de rigueur au cours de la procédure.

6.5. Les comptes rendus des élèves

L'étude des comptes rendus des travaux pratiques des élèves montre que sur dix-huit élèves neuf n'obtiennent pas les résultats attendus en ce qui concerne les tests expérimentaux relatifs à la présence/absence d'amidon et de sucre. Une analyse détaillée des erreurs fait ressortir que sur ces neuf cas, sept peuvent être imputés à une mauvaise application des consignes par les élèves. Pourtant la classe enregistrée était réputée comme classe docile et l'enseignant ne pouvait être plus vigilant qu'il ne l'a été dans le contrôle de la réalisation de la manipulation. On peut alors se demander si l'absence d'explicitation du raisonnement hypothético-déductif à l'origine de toute la procédure expérimentale n'a pas hypothéqué la compréhension de la finalité des actions à exécuter. Et, en la privant de sens, favoriser les erreurs manipulatoires.

des résultats peu
convaincants

6.6. Phase d'exploitation des données

L'enseignant attend des élèves une procédure appelée par R. Blanché (1989) "*procédure de type démonstration*". La vérité d'une proposition est établie car elle est la conséquence de propositions dont la vérité est reconnue. Ainsi

l'hypothèse est vraie car elle est la conséquence de propositions vraies (les résultats expérimentaux). Cette procédure peut se schématiser ainsi :

Je vois que (majeure)	1) en présence de salive l'amidon disparaît et il y a apparition de sucre 2) en l'absence de salive pas de disparition d'amidon et pas de formation de sucre
Or je sais que (mineure)	1) la disparition de x et la formation de y implique transformation chimique de x en y 2) la production d'un phénomène en présence d'un facteur "f" et sa non production en l'absence de ce même facteur implique que "f" est responsable de ce phénomène
Donc je peux en conclure que	1) il y a transformation chimique de l'amidon en sucre 2) la salive est responsable de la transformation de l'amidon en sucre

je vois que, or je sais que..., un aphorisme pas très scientifique

Cette "procédure de type démonstration" n'est pas une transposition didactique valide de la procédure de test d'une hypothèse. Cette dernière consiste, rappelons le, à valider l'hypothèse en établissant qu'elle a pour conséquence des propositions vraies (les résultats expérimentaux), et non qu'elle est elle-même conséquence de propositions vraies. Si l'hypothèse est vraie, alors le résultat devrait être celui-ci et pas un autre. Or ici c'est l'hypothèse qui devient la conséquence des résultats expérimentaux dans un mode de raisonnement qui présente toutes les apparences de la rationalité. Et l'on voit bien l'importance qu'il y a à inverser mineure et majeure dans cette logique de présentation empiriste : en attribuant le rôle de "majeure" au fait observé (qui n'a de sens qu'inclus dans la proposition énoncée en "mineure" alors que cette dernière conserve tout son sens en dehors de l'énoncé singulier de la "majeure"), on désigne explicitement la dimension heuristique attribuée à ce dernier.

principe du test expérimental

Pour mémoire la procédure expérimentale aurait dû être celle-ci :

Si mon hypothèse est vraie	Si la salive est responsable de la transformation chimique de l'amidon en sucre
sachant que	La transformation chimique de x en y implique la disparition de x et la formation de y
alors je devrais obtenir	En présence de salive, disparition de l'amidon et formation de sucre, et en absence de salive, non disparition de l'amidon et non formation de sucre
Conclusion Les résultats obtenus sont en accord avec les résultats attendus ; l'hypothèse est plausible . ou Les résultats obtenus sont en désaccord avec les résultats attendus : l'hypothèse, les conditions expérimentales.... sont à revoir .	

Malgré un manque de rigueur au niveau épistémologique et logique on peut cependant penser que la procédure utilisée

par l'enseignant dans cette phase contribue à renforcer certaines caractéristiques de l'épistémologie spontanée des élèves :

- le primat de l'expérience sur l'hypothèse ; le rôle de l'hypothèse étant fortement minimisé à l'avantage de celui des résultats expérimentaux ;
- le principe de dogmatisation des connaissances.

La procédure de "démonstration" aurait ainsi tendance à faire croire qu'en biologie l'expérimentation permet d'obtenir des solutions qui ont un statut de vérité absolue et non celui de vérité possible (au sens de "concevable dans un domaine de validité dépendant de l'ensemble des hypothèses auxiliaires que l'expérimentateur a introduit dans sa stratégie de mise à l'épreuve").

une procédure
trop fermée...

Cette procédure renforce également l'idée qu'il n'existe qu'une seule solution possible à un problème. La procédure qui consiste à transformer le problème initial : "Trouve une explication au phénomène observé" en "Démontre que l'hypothèse formulée est juste ou fausse" fait que le problème est résolu dès que l'on a "démonstré" que l'hypothèse est "juste". Cette procédure présente donc le danger d'arrêter la recherche d'autres explications possibles et de faire croire qu'en biologie, il n'existe toujours qu'une seule explication possible à un phénomène ; solution essentiellement fondée par le raisonnement (même si ce dernier est approximatif) et pour laquelle les résultats expérimentaux jouent le rôle de preuve. Procédure qui va dans le sens de l'hypothèse émise plus haut, de cette tendance à vouloir faire, de la biologie au moins, une science exacte régie par la logique formelle. Cette idée renforce également une représentation spontanée habituelle des élèves qui "constatant un résultat conforme à ce que laisse attendre leur hypothèse testée, concluent en faveur de cette hypothèse sans se demander s'il n'y a pas d'autre hypothèse qui est compatible avec ce qui est observé" (E. Cauzinille-Marmèche et al., 1983).

6.7. Bilan sur l'introduction de la connaissance à enseigner

Neuf élèves sur dix-huit ont réalisé les observations attendues, donc neuf élèves étaient *a priori* susceptibles d'arriver à la connaissance à introduire : "le sucre provient de la transformation de l'amidon sous l'action de la salive". Seulement deux sur les neuf introduisent cette connaissance en cohérence avec leurs résultats expérimentaux. Sur ces deux élèves, un seul y parvient en ayant indiqué toutes les observations et interprétations nécessaires. Les élèves ont donc des difficultés à relier les résultats obtenus à la connaissance à introduire.

Cette difficulté est peut-être à mettre en relation avec la notion d'obstacle substantialiste (G. Bachelard, 1938). Une des conséquences de l'existence de cet obstacle serait que les élèves considèrent un changement chimique comme un

... qui conduit
à des résultats
décevants

processus au cours duquel une substance change certaines de ses propriétés tout en conservant son identité. S'il y a apparition de quelque chose de différent des substances de départ, les élèves optent, dans leurs explications, plutôt pour la préexistence des substances finales à l'intérieur des substances initiales que pour la formation de substances nouvelles (C. Solomonidou & H. Stavridou, 1994). Le mécanisme de la réaction chimique serait un "accrochage" ou un "décrochage" des substances entrant en réaction. Dans ces conditions, il sera difficile pour l'élève, sans travail préalable, de mettre spontanément en relation la transformation de l'amidon en sucre et la constatation d'une "disparition" de l'amidon associée à une formation de sucre.

Six élèves écrivent la conclusion attendue mais elle n'est pas cohérente avec leurs résultats expérimentaux. Ce résultat peut indiquer que les élèves ont eu tendance à tenir davantage compte de la coutume didactique que de leur propre réflexion pour formuler leur conclusion. La seule hypothèse envisagée étant la bonne, il suffira de recopier celle-ci.

Neuf élèves sur dix-huit écrivent une conclusion "hors sujet" :

- Huit concluent à l'influence de la température, sept lui attribuant une influence positive. Cette erreur peut être mise en relation avec le changement de statut implicite de la température, qui, de variable, est devenue un paramètre.
- Un élève conclut sur le fait que la salive contient de l'amidon.

Ce bilan montre bien que malgré les efforts de l'enseignant pour fermer le problème au point de le rendre quasi inexistant il n'est cependant pas parvenu à faire que les élèves se l'approprient, et ce faisant le comprennent. Le problème ayant perdu toute forme d'enjeu il ne reste qu'à attendre de l'enseignant la conclusion à laquelle, de toutes manières, il faudra bien parvenir.

7. RÉÉCRITURE DE LA PROCÉDURE DE L'ENSEIGNANT

Si nous essayons de réécrire toute la procédure comme s'il s'agissait de l'énoncé d'un problème de mathématique, nous obtenons une formulation de ce type :

"Du pain mâché pendant dix minutes prend un goût sucré. Sachant que :

de la logique
"expérimentale"
à la logique
"mathématique"

- le constituant essentiel du pain est de l'amidon cuit,
- la température de la bouche est de 37 °C,
- lors de la mastication il est sécrété de la salive en abondance,
- la chimie nous offre de nombreux exemples de substances qui, si elles sont mises dans des conditions favorables, se transforment en d'autres substances ;

et si l'on suppose constante la température, faites la démonstration que la salive est l'agent principal de la transformation à l'aide du protocole suivant."

Suit le détail du protocole expérimental que nous vous épargnerons.

À l'inverse d'un problème de mathématiques où l'ensemble des données est directement proposé à l'élève dans un texte introductif, ici c'est leur identification sous la direction vigilante de l'enseignant qui va prendre une part importante du temps didactique ; mais le principe de fonctionnement reste identique. On est bien dans une procédure réaliste dans laquelle les données sont bien présentes pour qui sait les identifier, c'est-à-dire pour qui a compris la nature du problème. Tout le reste de la procédure n'est ensuite que déduction s'appuyant sur ces données élevées au rang d'axiome puisque leur pertinence n'est jamais remise en cause. La construction logique du raisonnement éclipse toutes les insuffisances de la procédure et lui confère une autorité qu'aucun élève ne saura contester. Le savoir est ainsi déduit des faits, "redémontré" sans que son dogmatisme ne soit jamais entamé. *"La prétendue 'logique de la découverte scientifique' n'est en réalité qu'une reconstruction postérieure, qui est logique dans la mesure ou elle se fait sur ce qui est su."* (G. Gohau, 1992).

Mais si l'on abandonne le strict point de vue de la pertinence épistémologique de la procédure pour adopter le point de vue du principe d'économie on a alors affaire à une séquence qui associe le point de vue empirique (ce sont bien les faits expérimentaux qui fondent le savoir) à une grande rigueur de raisonnement. Les quelques libertés prises avec les canons de la logique (que la synthèse des contraintes, sous forme de l'aphorisme *"on ne peut pas tout redémontrer"*, va justifier) permettent de concilier l'inconciliable : l'empirisme et la certitude des inférences. Où l'on retrouve également les options épistémologiques spontanées des enseignants : empirisme, induction, réalisme, rigueur du raisonnement scientifique. Tout ceci concourant à faire de ce modèle d'enseignement un modèle, particulièrement structuré et efficace du point de vue de l'enseignant, que des considérations d'ordre strictement épistémologique ne sauraient affecter.

une procédure
fortement
structurée

Les deux seules parties de l'hypothèse qui n'ont pas reçu de développement dans cette analyse de séquence sont celles relatives au point de vue des enseignants conséquent à leur formation initiale et aux conséquences de la procédure vis-à-vis de l'évaluation. Des enquêtes menées auprès d'enseignants devraient permettre d'apporter des éléments de réponse à la première et une étude plus complète des séquences d'enseignement de tester la pertinence de la seconde.

CONCLUSION

Cette analyse mène donc au résultat paradoxal suivant : partis d'une procédure généralement décrite comme inductive naïve et positiviste, nous en arrivons à une procédure qui s'inscrit dans la plus pure tradition du syllogisme scolastique : les savoirs sont écrits dans des textes de référence (les manuels universitaires) ; les "faits de nature", par leur intégration dans un raisonnement reprenant les principes de la logique formelle, n'ont d'autre rôle que de "démontrer" l'extrême cohérence des rapports existant entre les phénomènes étudiés et les savoirs qui décrivent leurs mécanismes. Tout comme les scolastiques contraignaient les faits pour les intégrer, par pure rhétorique, dans les systèmes explicatifs élaborés quelques siècles auparavant par les anciens (Aristote, Dioscoride, Galien,...). Construisant ainsi une science expérimentale dogmatique qui n'est pas sans rapports avec ce que l'on observe dans les classes de sciences expérimentales aujourd'hui.

Tout dans les conditions de travail de l'enseignant de sciences expérimentales concourt à conforter le point de vue qui vient d'être développé. Et la similitude avec les scolastiques dont la fonction principale était l'enseignement n'est pas fortuite. Tous deux disposent de savoirs construits et ne se reconnaissent aucune responsabilité dans sa construction ; seulement dans sa diffusion. Coupés des origines de ces savoirs, ils en sont réduits à en proposer des illustrations qui ne doivent en aucun cas les remettre en cause sous peine de trahir la mission qui leur est confiée. Étant discipline scientifique, les sciences expérimentales ne seront crédibles que si elles s'appuient sur une structure de raisonnement incontestable : la déduction. Ce choix est d'autant plus aisé que les enseignants comme les élèves baignent dans une véritable culture de la logique par l'importance faite à l'enseignement des mathématiques ; les destinataires des apprentissages les recevront donc d'autant plus facilement qu'ils n'auront pas à modifier leur mode de pensée. La maîtrise des événements mis en scène dans une telle structure permettra une programmabilité des actions conforme au découpage et à l'organisation du temps pédagogique. La rationalité de cette construction débouchera, enfin, sur une évaluation faisant appel à des mises en relation logiques d'objets privilégiant toujours et encore la pensée convergente mais permettant surtout l'émergence de critères d'évaluation normalisés (structure du raisonnement, "normalité" des résultats expérimentaux, etc.), bases indispensables à une évaluation "objective".

Ce qui nous conduit à désigner la procédure d'enseignement des sciences expérimentales comme comparable à celle des scolastiques : fondée sur des savoirs dogmatisés et argumentée par la seule logique formelle. À quoi l'on pourrait ajouter une forte inclination pour l'approche analytique. Ce

trop de
déduction nuit
à la spécificité
des sciences
expérimentales

qui, pour créer un néologisme, pourrait se résumer en “procédure logico-dogmatique”. Redéfinition qui rend plus cohérentes toutes les recherches menées autour des situations-problèmes cherchant à introduire dans les classes moins de rigorisme (moins de pensée convergente) et plus de liberté d’exploration (davantage de pensée divergente). Mais n’est-ce pas justement ce que prônait Francis Bacon dans son *Novum Organum* qui dénonçait si bien l’hégémonie de la logique formelle et l’utilisation abusive qu’en faisaient les scolastiques ? Et si la solution pour sortir notre enseignement expérimental de son impasse dogmatique était d’introduire une dose d’induction dans un monde largement dominé par la déduction ?

réintroduire
l’induction

Comme nous le disions au début de cet article il ne s’agit pas d’un simple débat autour de mots. Décrire “l’épistémologie spontanée” des enseignants comme inductiviste conduit à prôner une démarche hypothético-déductive à forte tendance déductive. Or nous venons d’essayer de montrer que leur démarche pourrait justement souffrir d’un excès de déduction. Le remède devrait donc être inverse et conduirait à instiller une approche plus ouverte des problèmes. C’est ce que font déjà tous les enseignants qui laissent leurs élèves libres d’énoncer leurs hypothèses et qui, surtout, les prennent toutes en compte à un moment au moins de la résolution du problème. C’est cette phase mettant en jeu la pensée divergente que l’on pourrait caractériser d’inductive. Phase qui précéderait un ensemble de choix collectivement discutés conduisant à la fermeture du problème autour d’une hypothèse et de quelques variables : seconde phase conduite, cette fois, par une procédure déductive. La transposition de la démarche scientifique consisterait alors à distinguer trois temps : le premier dans lequel toutes les hypothèses rationnellement envisageables par la classe seraient prises en compte et analysées (phase d’induction) ; le second qui consisterait à faire des choix selon des critères explicites ; le troisième serait une méthodologie contraignante et rigoureuse de test des hypothèses retenues (déduction conjoncturelle). Autant d’étapes qui permettraient aux élèves de donner et de conserver son sens à l’ensemble de la procédure expérimentale.

Cette proposition pourrait s’avérer féconde en biologie lors de l’initiation des élèves à l’approche multifactorielle propre à l’étude des systèmes. L’approche strictement hypothético-déductive ne s’applique vraiment que dans un cadre analytique où toutes les variables sont identifiées et maîtrisables. Et l’on vient de voir que même dans ce cas elle peut subir des dérives dogmatiques. Introduire dans la procédure de résolution de problème un temps plus long à la contextualisation en favorisant une initiation à l’observation (8) devrait permettre une approche plus globale des phénomènes. La mise en réseau des faits ainsi collectés devant ensuite conduire les élèves, à l’aide de raisonnements fondés sur la logique, à se construire une première architecture du sys-

tème étudié. C'est cette part d'induction qui nous semble faire défaut dans les modalités actuelles de l'enseignement de la biologie.

L'originalité de cette dernière proposition n'est certes pas très grande, d'autres l'ont faite bien avant nous (G. Gohau 1985 et 1992) ; nous avons seulement souhaité la replacer dans une perspective d'analyse systémique des situations d'enseignement expérimental, peut-être plus conforme avec une certaine transposition des apports de l'épistémologie. Il ne s'agirait donc plus de proposer toujours plus d'hypothético-dédution dans un enseignement qualifié d'inductiviste mais davantage d'induction conjoncturelle dans un enseignement qui apparaît comme à la fois fondé sur l'empirisme et largement dominé par une transposition dogmatique de la logique formelle.

Simone BOMCHIL
Bernard DARLEY
L.I.D.S.E. Université
Joseph Fourier. Grenoble

BIBLIOGRAPHIE

BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.

BALACHEFF, N. (1987). "Le contrat et la coutume. Deux registres des interactions didactiques". In *Actes du colloque franco-allemand de Luminy*. Grenoble : La pensée sauvage.

BERNARD, C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris : Flammarion, 1984.

BLANCHÉ, R. (1969). *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*. Paris : Armand Colin.

BLANCHÉ, R. (1989). "Raisonnement". In *Encyclopædia Universalis* (pp. 508-511). Paris.

BROUSSEAU, G. (1986). "Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques". *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 7, 2, 33-115.

CAUZINILLE-MARMÈCHE, E., MATHIEU, J., WEIL-BARAIS, A. (1983). *Les savants en herbe*. Berne : Peter Lang.

(8) Nous distinguons constat et observation. Un constat est le relevé d'un fait ou d'un événement sans préjuger de son rôle dans le déroulement d'un phénomène. L'observation, à l'inverse, est la capacité à identifier des faits que l'on juge (à tort ou à raison, c'est la suite qui le dira) susceptibles de prendre part au déroulement du phénomène qui est objet d'étude.

CHALMERS, A. (1976). *Qu'est-ce que la science ?* Paris : Éd. La Découverte, 1988.

CHEVALLARD, Y., JOHSUA, M.-A. (1991). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : Éd. La Pensée Sauvage.

COMTE, A. (1835). *Cours de philosophie positive*. Paris : Nathan, 1989.

DARLEY, B. (1993). "Options épistémologiques exprimées par les enseignants-chercheurs et les enseignants du secondaire sur la démarche expérimentale". In A. Giordan, J.-L. Martinaud et D. Raichvarg, (Éds). *Actes des XV^{es} Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation et la Culture Scientifiques et Techniques de Chamonix* (pp. 537-544). LIREST, Université de Paris 7.

DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M. (1989). *Qu'est-ce que le savoir scientifique?* Québec : Les Presses de l'Université de Laval.

GOHAU, G. (1985). "Plaidoyer pour un inductivisme modéré". *Bulletin de l'A.P.B.G.*, 4-1985, 705-708.

GOHAU, G. (1992). "Esprit déductif versus esprit inductif". *Aster*, 14, 9-19. Paris : INRP.

JOHSUA, S., DUPIN, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : P.U.F.

LARGEAULT, J. (a) (1984). "Idéalisme". In *Encyclopædia Universalis* (pp. 889-894). Paris.

LARGEAULT, J. (b) (1984). "Réalisme". In *Encyclopædia Universalis* (pp. 585-588). Paris.

ORLANDI, É. (1993). "Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale". *Aster*, 13, 111-132. Paris : INRP.

POPPER, K. (1959). *La logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot, 1973.

ROBARDET, G. (1995). *Didactique des sciences physiques et formation des maîtres : contribution à l'analyse d'un objet naissant*, Thèse de doctorat d'université. Université J. Fourier, Grenoble 1.

RUEL, F., DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M. (1997). "Enseigner et apprendre les sciences : représentations sociales de futurs enseignants et enseignantes". *Didaskalia*, 10, 51-73.

SOLOMONIDOU, C., STAVRIDOU, H. (1994). "Les transformations des substances, enjeu de l'enseignement de la réaction chimique". *Aster*, 18, 75-95. Paris : INRP.

LES PRATIQUES EXPÉRIMENTALES : PROPOS D'ENSEIGNANTS ET CONCEPTIONS OFFICIELLES

Maryline Coquidé

Les pratiques expérimentales dans l'enseignement de la biologie contribuent à la constitution d'un référent empirique pour les élaborations conceptuelles ou modélisantes, et à l'apprentissage de compétences à travers trois modes didactiques d'activités que nous distinguons : un mode de familiarisation pratique, un mode d'investigation empirique et un mode d'élaboration théorique. Ces trois modes restent, le plus souvent, mal représentés ou confondus tout au long du curriculum.

Des entretiens semi-directifs, auprès d'enseignants de Sciences de la Vie et de la Terre intervenant dans l'option sciences expérimentales (classe de Première S) mettent en évidence différentes confusions et ambiguïtés concernant les situations d'activités expérimentales dans l'enseignement de la biologie. Les propos concernant l'intérêt d'une pratique expérimentale reflètent, le plus souvent, des conceptions maximalistes sur l'intérêt didactique des activités expérimentales dans l'enseignement de la biologie : participer, à chaque fois et en même temps, à une élaboration théorique et à une validation empirique, avec peu de place attribuée à l'exploration.

L'analyse de textes officiels et d'un guide pédagogique, reflète des conceptions d'une partie de la noosphère, montre des ambiguïtés épistémologiques et didactiques similaires, ce qui peut contribuer à renforcer les conceptions des enseignants.

les pratiques
expérimentales
en biologie :
un enjeu
fondamental
mais des
difficultés

Les activités pratiques, en particulier les pratiques expérimentales effectuées ou simulées, constituent un paradigme organisateur de l'enseignement des sciences expérimentales (Host, 1991). D'une part, les pratiques expérimentales donnent la maîtrise de techniques et rendent le savoir opérationnel ; d'autre part, l'évolution des situations expérimentales proposées impose des interprétations successives, ce qui freine la dogmatisation du savoir et détermine son domaine de validité. En situation didactique, ces activités ne sont pas, cependant, sans poser de nombreux problèmes. L'épistémologie spontanée des enseignants reste souvent positiviste (Orlandi, 1993 ; Robardet, 1995) et l'étude sur les travaux pratiques, réalisée par Nott (1996) en Angleterre, montre que les activités expérimentales entreprises laissent peu de place à la résistance du réel. "Il faut que ça marche" et des enseignants de biologie de lycées français, interviewés dans le cadre d'une recherche coopérative INRP (1), font part de leurs difficultés en ce qui

(1) Les interviews ont été réalisées par Patricia Bourgeois-Victor, Jean-Marc Lange et Isabelle Martinet, IUFM de Rouen.

concerne le contrôle pédagogique de l'option expérimentale de la classe de Première S, domaine pourtant privilégié pour des pratiques d'investigation. *"Le grand problème c'est d'arriver à guider les élèves pour qu'ils arrivent à proposer quelque chose eux-mêmes"* témoigne un des professeurs. Injonction apparemment paradoxale que nous confie cet enseignant ! S'agit-il là de l'enjeu fondamental dans ce mode didactique de séquence — pour que *"les élèves arrivent à proposer quelque chose eux-mêmes"*, une préparation à long terme, et réfléchie à l'échelle d'un curriculum, se révèle indispensable, l'apprentissage d'une réelle investigation scientifique ne pouvant être spontanée — ou s'agit-il du témoignage d'une difficulté considérée finalement comme insurmontable ?

Les pratiques expérimentales peuvent, en fait, obéir à des logiques différentes et il semble que le statut de l'expérimental en classe ne soit pas toujours bien clarifié. En nous appuyant sur trois exemples, extraits de la littérature, nous proposerons une première analyse des contextes et des objectifs possibles des activités expérimentales dans différents modes didactiques. Nous expliciterons les trois modes didactiques proposés. Nous analyserons ensuite les conceptions des enseignants sur ces pratiques qui émergent de leurs discours pour les mettre en relation avec des textes officiels.

1. ÉTUDE DE TROIS EXEMPLES

1.1. Description

• Exemple 1 : la lampe torche

Il s'agit du compte rendu, dans un manuel de pédagogie, d'exercices réalisés sur quatre séances de classe par des élèves de l'école primaire (Tavernier, 1978). Les élèves, répartis par groupes, découvrent et manipulent des lampes torches. Ils les font fonctionner. Des lampes s'allument, d'autres non... Les problèmes se succèdent et il faut trouver des solutions. Le tâtonnement expérimental, le démontage et le remontage de l'appareil permettent peu à peu de découvrir la constitution de la lampe et les conditions de son fonctionnement (séance 1). Par la réalisation individuelle de schémas de lampe torche qui sont ensuite discutés par l'ensemble de la classe, les élèves proposent des modèles qui font fonction d'hypothèses (séance 2). Ils essaient ensuite de construire une lampe torche à partir de ces différents éléments et de la faire fonctionner (séance 3). Par tâtonnement expérimental, ils tentent de faire briller l'ampoule à l'aide de différents objets, métalliques ou non, et approchent de la notion de circuit électrique (séance 4).

trois exemples
contrastés de
pratiques
expérimentales

• **Exemple 2 : la combustion de la bougie**

Il s'agit d'une étude de psychologie cognitive (Cauzinille-Marmèche, Mathieu, Weil-Barais, 1983) destinée à analyser le raisonnement des élèves en situation expérimentale. "La combustion d'une bougie" est une activité menée dans une classe de collège. Après constatation qu'une bougie placée sous un flacon s'éteint au bout d'un certain temps, les élèves discutent pour savoir "pourquoi ça s'éteint". La plupart d'entre eux pensent que la bougie s'éteint quand il n'y a plus d'air. Du matériel d'expérience est alors mis à leur disposition : des flacons de trois volumes différents, de deux formes différentes et des bougies de trois tailles différentes. Après un moment d'échanges verbaux, les élèves précisent par écrit s'ils pensent que les facteurs "volume", "forme" et "taille" interviennent dans la combustion, en justifiant leur réponse (hypothèses sur les facteurs à tester faites par les élèves *a priori*). Invités ensuite, par petits groupes, à "*faire des expériences pour savoir si les idées émises sont bonnes*", ils doivent également décrire chaque expérience sur une feuille, en indiquant son objectif, les résultats obtenus et les conclusions tirées (expériences réalisées par les élèves pour tester l'effet des trois facteurs étudiés).

• **Exemple 3 : modélisation de situations de choc**

Ces situations expérimentales sont décrites dans un ouvrage de didactique (Lemeignan, Weil-Barais, 1993). Destinées à l'enseignement de la mécanique dans le secondaire, elles présentent aux enseignants du matériel à proposer aux élèves et des situations didactiques à mettre en œuvre avec un questionnement précis. Toutes ces activités ont pour buts de faire pratiquer un contrôle expérimental aux élèves et de les engager d'emblée dans des activités de modélisation de situations de choc. Les prédictions et les justifications, qu'il est possible que les élèves fassent, et les constats expérimentaux sont analysés et commentés dans cette perspective.

1.2. Analyse comparative des trois exemples

Les trois cas présentés brièvement ci-dessus, extraits d'ouvrages ayant des statuts différents et concernant des niveaux d'enseignement divers, sont certes hétérogènes. On peut néanmoins constater que, dans chacun d'eux, l'activité expérimentale obéit à une logique et intervient par rapport à une priorité d'entrée pédagogique précise. Un choix a été fait et le statut de l'expérimental dans chacun de ces trois cas diffère. Si cette priorité d'entrée correspond à une dominante, remarquons, cependant, que l'activité expérimentale ne se réduit pas seulement à cette priorité.

Exemple 1 : entrée axée sur l'activité de l'élève.

Exemple 2 : entrée axée sur la démarche de l'élève.

Exemple 3 : entrée axée sur l'appropriation de concepts par l'élève.

trois modes
didactiques
de pratiques
expérimentales...

Chacun de ces exemples peut illustrer un mode didactique des pratiques expérimentales en classe.

L'exemple 1, proposé dans un modèle pédagogique d'investigation-structuration (INRP), correspond à une initiation scientifique. La situation sollicite l'élève dans l'exploration et le contrôle de ses actions et nous pourrions qualifier l'activité expérimentale réalisée dans ce cas d'*expérimentation*. Si on l'analyse avec une perspective d'apprentissage de concepts, les buts de ces pratiques sont de familiariser l'élève à un objet technique, de développer un questionnement et de constituer un référent empirique pour l'enseignement du concept de circuit électrique. Le référent empirique, pour l'enseignement d'un concept, représente l'ensemble des objets, des phénomènes et des procédés pris en compte, par expérience directe ou par évocation, et des premières connaissances d'ordre pratique qui leur sont associées (Martinand, 1986). Cet exemple permet d'illustrer un mode didactique de pratiques expérimentales que nous proposons de nommer *mode de familiarisation pratique*.

Les situations expérimentales de l'exemple 3 sont présentées aux enseignants du secondaire pour les aider à préparer un enseignement de mécanique. Il s'agit de donner du sens à des symbolismes peu familiers aux élèves, ou de contrôler la validité d'une représentation, ou bien encore d'élargir le référent empirique en étendant le domaine expérimental explorable par un modèle. Les activités expérimentales pourraient être qualifiées d'*expérience-validation*. Cet exemple permet d'illustrer un mode didactique de pratiques expérimentales que nous proposons de nommer *mode d'élaboration théorique*.

Dans l'exemple 2, les élèves sont mis dans une situation d'investigation empirique pour une étude concernant les raisonnements utilisés dans une situation expérimentale. Dans un contexte scolaire, il s'agirait de mettre en œuvre une démarche d'investigation, avec peut-être des moments plus divergents d'exploration et des moments plus convergents de validation de propositions. Les activités expérimentales, envisagées et effectuées, pourraient, globalement, être qualifiées d'*expérimentation*. Cet exemple permet d'illustrer un mode didactique de pratiques expérimentales que nous proposons de nommer *mode d'investigation empirique*.

...pour la
constitution d'un
référent
empirique, et
pour la formation
à des démarches
scientifiques

Ces modes, en relation avec différents registres épistémologiques, ne représentent pas des étapes mais des moments possibles à l'intérieur d'un apprentissage. La question de l'articulation des ces différents modes peut se poser à différents niveaux :

- au niveau des choix pédagogiques successifs que doit faire un enseignant pour organiser les activités d'apprentissage des élèves,
- au niveau de l'organisation d'un curriculum.

2. DIFFÉRENTS MODES DIDACTIQUES DE PRATIQUES EXPÉRIMENTALES

2.1. Mode de familiarisation pratique

expérience-action
et expérientiation

C'est un mode d'activités d'un registre de familiarisation pratique aux objets et aux phénomènes, et qui permet l'élaboration des *concepts quotidiens* de Vygotski. Dans une perspective génétique, il correspond soit à l'initiation scientifique du jeune enfant soit à l'abord d'un nouveau sujet d'étude. Dans ce mode d'activité, et d'un point de vue pédagogique, les pratiques expérimentales sont en relation avec des situations de familiarisation. Elles ont pour but de familiariser l'élève à des objets ou des phénomènes, de l'inciter à un questionnement, de constituer un référent empirique. Les activités peuvent lui faire acquérir des savoir-faire préalables ou s'approprier des techniques d'investigation (instruments et procédures). L'élève expérimente "pour voir" ; il explore et contrôle peu à peu ses actions ; il apprend à maîtriser des pratiques.

Le mode de familiarisation ne concerne pas seulement l'enseignement primaire. Il a toute sa fonction dans le secondaire : pour apprivoiser un domaine, comme lieu de problématisation, ou bien encore pour favoriser un apprentissage de savoir-faire et de techniques préalables.

2.2. Mode d'investigation empirique

expérience-objet
et
expérimentation

Le mode d'investigation empirique peut articuler le registre de familiarisation pratique aux objets et aux phénomènes (positionnement des problèmes scientifiques, première connaissance pratique,...) et le registre d'élaboration intellectuelle (critères de scientificité, construction ou application de concept, élaboration ou application de modèle). La logique d'un mode d'investigation est de résoudre des problèmes avec une approche qui reste ouverte.

Dans ce mode, correspondant à une transposition didactique des démarches d'un chercheur, les situations expérimentales ont pour but d'initier l'élève à des raisonnements scientifiques, de lui faire utiliser les instruments et les procédures d'une réelle investigation, de lui faire approcher la résistance du réel. Comme Jacques Désautels et Marie Larochelle l'ont proposé dans leurs études (1993), ce mode didactique peut également développer la métacognition et le retour sur les démarches suivies. Le raisonnement logico-mathématique ne rentre cependant pas seul en ligne de compte et les situations proposées recouvrent des dimensions beaucoup plus vastes, d'apprentissages méthodologiques, de mise à l'épreuve de la résistance du réel, de développement d'un esprit critique face au possible artefact et à l'interactivité des variables...

D'un point de vue pédagogique, les situations d'investigation, empirique ou documentaire, sont très variées. L'élève mène un mini projet ou met en œuvre, en tout ou en partie, une réelle démarche d'investigation scientifique : recherche bibliographique, problématisation, investigation dont expérimentation, conception et réalisation de protocoles, communication, discussion. Les situations peuvent permettre d'articuler des phases d'exploration avec des observations divergentes et des phases de validation de propositions avec observations convergentes. La créativité et la logique, ainsi que de nombreuses opérations mentales concernant l'argumentation, l'induction et la déduction, sont sollicitées.

Ce mode pourrait être comparé au *SCI Scientific Investigation* (2), module d'activités pratiques d'investigation ouverte, du curriculum de Grande Bretagne (Dunggan et Gott, 1995). Cependant dans le cadre de SCI, une seule démarche est valorisée — la démarche analytique de résolution de problèmes avec séparation stricte de facteurs — démarche qui ne convient pas toujours pour les investigations en biologie. Ce mode recouvre également les perspectives de l'option sciences expérimentales de Première S des lycées français, en particulier par l'attention portée, dans les textes officiels, à la bibliographie.

2.3. Mode d'élaboration théorique

expérience-outil
et
expérience-
validation

Dans le mode d'élaboration théorique, les expériences, réalisées ou évoquées, ont pour but d'élargir le référent empirique, de participer à la construction de concepts et à l'élaboration de modèles scientifiques (Martinand *et al.*, 1992, 1994). Les observations effectuées par l'élève dans ce mode sont, le plus souvent, convergentes et l'expérimental est mis au service de l'appropriation conceptuelle et modélisante.

Dans une situation d'élaboration théorique, l'élève est sollicité pour effectuer de nombreux aller et retour entre référent empirique et conceptualisation, que ce soit pour l'élaboration ou l'application des concepts et des modèles. Il peut ainsi explorer les domaines de validité des constructions conceptuelles et modélisantes, en éprouver la pertinence et, si possible, étendre leur domaine d'application.

(2) *SCI* a été introduit en 1989, avec l'arrivée d'un curriculum national pour la science en Angleterre et au Pays de Galles. Dans ce curriculum national, l'évaluation finale des élèves, à seize ans, a quatre composantes de même importance : chimie, physique, biologie et investigation pratique. En 1994, le curriculum a été révisé. Le nouvel intitulé du cadre d'investigation ouvert est *Exploration of Science* (Nott, 1996).

2.4. Premier bilan

En Angleterre, les modèles de pratiques expérimentales couramment utilisés par les enseignants sont fondés sur des "habiletés" des élèves, relatives à des processus tels qu'observer, formuler des hypothèses, contrôler des variables, et ceci indépendamment du contenu scientifique et du contexte. Or, pour Robin Millar (1996), la réussite des élèves à des tâches d'investigation scientifique requiert un spectre de compréhension très large : compréhension du problème et des buts de l'investigation, compréhension des connaissances conceptuelles mises en jeu et des techniques d'investigation, compréhension des méthodes scientifiques et de l'incertitude pour apprécier la qualité des résultats... Il considère qu'une analyse des pratiques expérimentales, fondée sur les connaissances et sur le cadre d'investigation choisi par les élèves, est plus claire que celle basée sur des "habiletés". Un tel cadre d'analyse lui apparaît plus utile pour les décisions curriculaires, car il *"offre une "carte" du domaine d'apprentissage et une base pour déterminer des séquences d'enseignement"*. Cependant ce qu'il nomme "connaissances" regroupe un ensemble de savoirs très vaste et cette approche conduit à amalgamer l'ensemble des modes didactiques de pratiques expérimentales.

articulation des
différents
modes...

Dans une perspective curriculaire et d'enseignement-apprentissage à long terme, les questions concernant le positionnement des problèmes scientifiques, le domaine d'application des connaissances et les limites de validité sont à mettre en relation avec celles concernant le référent empirique, sa constitution et son extension progressive. Les propositions de modes didactiques de pratiques expérimentales peuvent éclaircir les questions concernant la constitution d'un référent empirique et celles de formation à des démarches scientifiques.

... dans une
perspective
curriculaire...

L'enseignant adapte ses interventions à ses objectifs ; le contrôle pédagogique des situations en relation avec les trois modes didactiques proposés seront bien sûr le reflet de cette adaptation. Le tableau (document 1) résume le point de vue didactique du contexte et des buts, ainsi que le point de vue pédagogique de la nature du dispositif mis en place pour l'élève et du guidage de l'enseignant.

... et au niveau
des situations
pédagogiques

Document 1. Modes didactiques des pratiques expérimentales

MODE DE FAMILIARISATION PRATIQUE (MFP) : "expérimentation"

Contexte : soit initiation scientifique, soit abord d'un nouveau sujet étude.

Buts : familiariser l'élève avec des objets, des phénomènes ; développer un questionnement scientifique ; faire progresser un savoir-faire préalable, faire s'approprier des techniques d'investigation ; constituer un référent empirique.

Nature du dispositif pour l'élève : exploration empirique et contrôle des actions.

Priorité de guidage de l'enseignant : proposer des situations variées et diversifiées, initier une articulation entre le réel et l'abstraction, favoriser les comparaisons, les confrontations multiples, relancer le questionnement, introduire le doute, aider à reformuler, favoriser un apprentissage technique.

MODE D'INVESTIGATION EMPIRIQUE (MIE) : "expérimentation"

Contexte : pratiques d'investigation, recherche problématisée.

Buts : initier à des démarches scientifiques, utiliser des techniques d'investigation.

Nature du dispositif pour l'élève : mise en œuvre, en tout ou en partie, d'une réelle démarche d'investigation (recherche bibliographique, problématisation, investigation dont expérimentation, conception et réalisation de protocoles, communication, discussion) ; réalisation d'un mini projet.

Priorité de guidage de l'enseignant : aider à problématiser ou à émettre un projet, favoriser la mise en œuvre des investigations, favoriser la rigueur dans la démarche de validation des élèves, favoriser les confrontations multiples, favoriser la réflexion des élèves sur les démarches et les raisonnements qu'ils suivent.

MODE D'ÉLABORATION THÉORIQUE (MET) : "expérience-validation"

Contexte : élaboration conceptuelle ou modélisante.

Buts : participer à la construction de concepts et à l'élaboration de modèles scientifiques (élaboration et application) ; élargir le référent empirique.

Nature du dispositif pour l'élève : sollicitation d'aller et retour entre registre empirique et conceptualisation.

Priorité de guidage de l'enseignant : proposer des activités dans les domaines de validité des constructions théoriques qui doivent être explorés pour en éprouver la pertinence.

3. CONCEPTIONS D'ENSEIGNANTS SUR LES PRATIQUES EXPÉRIMENTALES

3.1. Méthodologie

Une enquête (3) ayant pour objectif de cerner les systèmes de représentations et les pratiques sociales des enseignants de Sciences de la Vie et de la Terre concernant l'expérimental dans la classe a été entreprise.

(3) Étude entreprise dans le cadre de la recherche coopérative IUFM/INRP sur l'expérimental dans la classe, coordonnée par Claudine Larcher.

• **Des entretiens semi-directifs**

une enquête
auprès
d'enseignants
de SVT en classe
de première
option sciences
expérimentales

Dans le cadre de cette étude, des entretiens semi-directifs d'enseignants d'option sciences expérimentales de la classe de Première Scientifique ont été réalisés. L'interview devait permettre de saisir la représentation qu'a l'enseignant des pratiques expérimentales articulées avec le contexte expérimentiel. Il ne s'agissait pas, en effet, de faire seulement décrire mais de faire "parler sur". La grille de questionnement (document 2) a donc été utilisée avec souplesse.

Document 2. Grille d'entretien

Les questions sont posées ensemble au début de l'entretien, avec relance éventuelle si certains points ne sont pas abordés.

1. Questions relatives à l'option sciences expérimentales, classe de Première S

Quelle est votre expérience personnelle dans le domaine ?

Que font réellement les élèves ? Et vous, que faites-vous réellement ?

D'où viennent les problèmes scientifiques à résoudre ?

Quels intérêts et quelles limites avez-vous repérés dans le cadre de cette option ?

Quelles satisfactions et/ou déceptions vous ont été apportées ?

2. Élargir l'entretien aux questions suivantes si elles n'ont pas été abordées spontanément

Quelles pratiques expérimentales vous semblent intéressantes à mettre en œuvre au lycée ? Quels intérêts pour l'élève ?

• **Choix des enseignants interviewés**

Pour diversifier les propos recueillis nous avons sollicité des enseignants qui présentaient des caractéristiques très différentes relatives à leur ancienneté, aux relations qu'ils ont établies ou non avec la formation, au type d'établissement et à la ville où ils enseignent. Les entretiens ont ensuite été rendus anonymes, en désignant l'enseignant par une lettre (document 3).

Document 3. Caractéristiques concernant les enseignants interviewés

enseignants	A	B	C	D	E	F	G
sexe	M	M	M	M	F	F	M
grade	agrégé	certifié	agrégé	certifié	agrégé	agrégé	agrégé
ancienneté	5 ans	5 ans	25 ans	15 ans	6 ans	5 ans	10 ans
établissement	lycée public général et technique	lycée public	lycée public	lycée privé	lycée public	lycée public	lycée public
ville : nombre d'habitants	12000	13000	17000	110000	200000	17000	110000

3.2. Les modes de pratiques expérimentales évoquées

Le cadre de l'option sciences expérimentales a été retenu pour réaliser les entretiens car c'est dans ce cadre qu'a priori peuvent être mises en œuvre des situations d'investigation.

• *Analyse des propos*

Après retranscription, les interviews ont été soumises à une analyse thématique et à la grille d'analyse des pratiques expérimentales selon les différents modes (voir ci-dessus). Il s'agit, dans un premier temps, de sélectionner dans les propos des professeurs interviewés ce qui concerne le contexte et les buts de pratiques expérimentales, ainsi que les contrôles pédagogiques relatés (dispositifs mis en place, guidage de l'enseignant), afin de les rapporter à chacun des trois modes.

Les discours des enseignants A et C peuvent être rapprochés.

“Au sein d'un sujet, on est libre de faire ce que l'on veut, sans souci d'exhaustivité, donc les conditions idéales et sans souci qu'un groupe fasse la même chose qu'un autre groupe, c'est donc le créneau le plus intéressant vis-à-vis de la démarche expérimentale.” (C, R 1) (4).

Pour eux, l'option doit permettre aux élèves de définir une problématique, de proposer des protocoles pour résoudre ce problème. L'accent est mis sur l'autonomie des élèves et sur leurs initiatives (et cela pose des difficultés...). Ils relatent leurs interventions principales comme consistant à aider à problématiser, à développer l'esprit critique (A et C), à proposer des dossiers bibliographiques, à organiser la visite du laboratoire, à présenter le matériel disponible, à organiser les discussions (C). Les propos de ces deux enseignants sont globalement en cohérence avec une logique d'investigation.

Les propos de l'enseignant D diffèrent.

“C'est un enseignement qui doit être réalisé à partir des travaux des élèves, des initiatives, des recherches et ça c'est la principale difficulté car il faut de toute manière tricher de manière à orienter ces travaux, ces initiatives vers ce que l'élève doit retenir comme connaissances.” (D, R 1).

Il se place d'office dans une logique d'élaboration théorique.

Les discours des autres enseignants situent tous le contexte de l'option dans une logique d'investigation mais les commentaires sont plus complexes à analyser.

“Je propose les manipulations sous forme de fiches.” (B, R 4).

“Je propose certaines expériences qui font intervenir les hormones végétales puisqu'ils ne connaissent pas leur existence et je propose les protocoles puisqu'ils ne peuvent pas les inventer.” (F, R 10).

des propos sur
l'expérimental...

(4) La première référence identifie l'entretien, la deuxième le numéro de la réponse.

“Si on n’avance pas du tout, ils vont se lasser très vite donc il faut se renouveler quand même, leur montrer des choses différentes.” (G, R 12).

Ces professeurs exposent des mises en œuvre de dispositif et de guidage pédagogique composites de plusieurs modes.

Le bilan des propos, interprétés selon les trois modes didactiques, concernant le contexte et les buts des pratiques expérimentales ainsi que les modalités de contrôle pédagogique évoqués dans l’entretien de chaque professeur est présenté dans le document 4.

• **Recomposition des logiques à l’œuvre**

... et des modes didactiques évoqués très diversifiés

Le travail est en cours pour, dans un second temps, recomposer l’ensemble du discours de chaque professeur pour mieux analyser les logiques à l’œuvre. Il s’agit, pour chaque cas, d’étudier les démarches de mise en œuvre de l’option rapportées par chaque enseignant. Prenons, par exemple, des extraits sélectionnés du propos de l’enseignant E et présentés chronologiquement. Ces phrases, extraites ici de leur contexte, sont interprétées en relation avec l’articulation de l’ensemble de l’entretien.

- *“S’il y avait une expérience vraiment foireuse, si je savais qu’il y aurait des questions à se poser sur les résultats, je les laissais faire et puis on regardait et on discutait.”* (E, R 5) ; situation d’investigation empirique.

- *“Les expériences, il y en a que je leur ai imposées parce qu’ils ne peuvent pas tout inventer non plus.”* (E, R1) ; *“Il y a des TP qui sont faits dans l’option sciences expérimentales mais qui pourraient être faits en cours puisque les thèmes sont toujours en lien avec ce qui est fait en cours.”* (E, R 27) ; situations d’élaboration théorique.

analyse des logiques à l’œuvre

- *“On a mis des petits coléoptiles plantés sur le tourne-disque que l’on a fait tourner pendant une semaine pour voir le géotropisme, (...) ce qui était bien cette année-là c’est que les élèves ont senti que pour nous aussi c’était de la découverte.”* (E, R 30) ; *“J’ai fait de la microbio, (...) en fait ça leur apprend à travailler en milieu stérile.”* (E, R 39) ; situations de familiarisation.

L’analyse de la recomposition du discours montre que cet enseignant a successivement recombinaé puis juxtaposé l’ensemble des modes didactiques.

Document 4. Bilan simplifié des différents modes de pratiques expérimentales de l'option sciences expérimentales évoquées dans les entretiens

Entretien A	MFP	MIE	MET
Contexte		x	
Buts		x	
Dispositif		x	
Guidage		x	

Entretien B	MFP	MIE	MET
Contexte	x	x	
Buts		x	
Dispositif		x	x
Guidage		x	x

Entretien C	MFP	MIE	MET
Contexte		x	
Buts		x	
Dispositif		x	
Guidage		x	

Entretien D	MFP	MIE	MET
Contexte			x
Buts			x
Dispositif			x
Guidage			x

Entretien E	MFP	MIE	MET
Contexte	x	x	x
Buts	x	x	
Dispositif	x	x	x
Guidage		x	x

Entretien F	MFP	MIE	MET
Contexte		x	
Buts		x	
Dispositif		x	x
Guidage		x	x

Entretien G	MFP	MIE	MET
Contexte		x	
Buts	x	x	
Dispositif	x	x	
Guidage		x	x

MFP : mode de familiarisation pratique

MIE : mode d'investigation empirique

MET : mode d'élaboration théorique

3.3. Conceptions sur les pratiques expérimentales

• Intérêts des pratiques expérimentales

“C’est intéressant au niveau méthodologique, du raisonnement inductif, déductif.” (A, R 20)

L’enseignant A insiste sur le développement de compétences méthodologiques et sur les démarches. On retrouve des commentaires similaires dans l’entretien du professeur C.

Les discours sur les intérêts des pratiques expérimentales des autres enseignants peuvent être rapprochés. Le professeur D justifie les activités expérimentales proposées lors du thème de la physiologie appliquée à l’activité sportive en ces termes :

“C’est du concret parce que ça apparaît en temps réel sur l’ordinateur et c’est du concret parce que c’est un élève qui fait les flexions.” (D, R 11).

Au total, quatre professeurs mettent l’accent sur ce qu’ils nomment du “concret”.

Un autre aspect est fréquemment mis en avant :

“J’ai choisi ces thèmes parce qu’ils offrent le plus de possibilités de manipulations.” (B, R 1)

“Il faut faire manipuler au maximum les élèves.” (E, R 1).

“La nutrition c’est un thème sur lequel il y a peu de manipulations.” (E, R 7).

“S’ils ne manipulent pas, ce n’est plus un TP.” (F, R 18).

La manipulation apparaît comme un intérêt essentiel pour la moitié des professeurs interviewés et l’enseignant B établit une liaison très forte entre “activités pratiques, manipulations et acquisition de savoir-faire” :

“Ce sont de réels TP, ils en tirent quelque chose au niveau des savoir-faire qui les aide directement dans la biologie de façon générale.” (B, R 15).

Deux autres professeurs commentent :

“Avec les thèmes de géologie proposés, il faudra m’expliquer comment on peut faire de l’expérimentation avec.” (E, R 11).

“Il faudrait au moins donner des thèmes où il y a de l’expérimentation faisable dans une classe, mais pas des sujets où il faut rechercher dans les livres ou travailler sur des cartes. Pour eux ce n’est plus de l’expérimentation, ce n’est pas assez concret.” (F, R 32).

On peut remarquer que, pour ces enseignants, l’importance donnée aux aspects “concrets” ou manipulateurs entraîne, par ailleurs, des confusions entre investigation et expérimentation.

Le mode didactique d’une situation d’investigation empirique laisse aux élèves des initiatives pour leur faire éprouver la matérialité des sciences. Cependant, un enseignant témoigne :

“Ils butent énormément sur des petits détails pratiques, à chaque fois que je leur ai laissé l’initiative de la conception. Par exemple, pour mettre en place des cultures, comment maintenir un taux hydrique constant ?” (B, R 9).

importance des
compétences
méthodologiques
et des
démarches

du concret et de
la manipulation
avant tout

la résistance du
réel contournée

La résistance du réel peut faire peur aux enseignants. Nous retrouvons pourtant bien là un enjeu important du mode d'investigation empirique. Ce point représente un objectif et non pas une difficulté. Il faudrait que les élèves sachent tout faire sans qu'on leur donne jamais vraiment les moyens de commencer. Les professeurs préfèrent souvent gommer cette matérialité, en intervenant très vite dans le guidage ou en proposant d'office des protocoles "clés en main".

• **Démarches expérimentales**

"C'est toujours pluri-factoriel, mais, par exemple pour la germination, ils ont bien compris qu'il fallait toujours de l'eau pour pouvoir étudier d'autres facteurs... Par tâtonnement ils ont vu ce qu'il fallait tester mais toujours bien sûr canalisés par l'enseignant." (A, R 17).

"En faisant des expériences sans le témoin, ils ont bien vu qu'ils ne pouvaient rien en dire." (A, R 16).

"S'ils considéraient que leur travail était terminé, ils me rendaient un compte rendu qui devait comporter la problématique, les différentes étapes du travail, la motivation en introduction, et voir aussi quelles avaient été leurs errances." (C, R 10).

Les professeurs A et C exposent, dans leurs propos, à la fois des démarches tâtonnantes et des démarches plus rigoureuses de mises à l'épreuve d'hypothèses.

Les propos d'autres enseignants peuvent être plus complexes : *"La condition était que dans le compte rendu il y ait une démarche expérimentale, c'est-à-dire qu'ils reposent les problèmes et qu'ils proposent des hypothèses, des expériences, et savoir si l'expérience répondait ou pas à l'hypothèse."* (E, R 15).

"J'ai un problème, j'ai émis une hypothèse, j'ai fait un truc pour le démontrer, et j'ai obtenu un résultat." (G, R 21).

mise à l'épreuve
d'hypothèses

"C'est eux qui cherchent les informations, on cherche ensemble un ou deux problèmes qu'on essaye de résoudre. À partir de ce problème, ils se posent des questions qui vont leur tenir lieu d'hypothèses, qu'on va reformuler en hypothèses qui ne sont pas forcément justes puisqu'ils ne sont pas censés connaître les résultats, puis ils essaient de mettre au point, d'après ces hypothèses, un schéma expérimental et de le réaliser dans la classe." (F, R 1).

Ils sont, d'une part, fortement teintés de positivisme avec l'exposition d'une démarche très linéaire qui pourrait être caractérisée comme PHERIC (5) (Problème, Hypothèse, Expérience, Résultat, Interprétation, Conclusion).

"Il y avait un travail qui ressemblait plus à un travail de recherche que le travail que l'on fait habituellement." (E, R 31).

"Quand on se trompe sur une expérience, on sait pourquoi, on recommence et cela reste imprimé." (F, R 27).

(5) En clin d'œil à la démarche de reconstruction dénommée OHERIC.

“Ça va partir dans tous les sens, donc on ne peut pas les laisser complètement... On peut mais je ne sais pas si ce sera très formateur si on ne les guide pas du tout, j'ai peur que l'on ne tire pas grand-chose... C'est formateur dans la mesure où ils verront qu'ils se sont plantés.” (G, R 18).

Ces derniers propos témoignent, d'autre part, d'une vision plus tâtonnante ou plus divergente, mais finalement peu exploitée en situation de classe.

Il y a souvent valorisation de “La” démarche expérimentale, avec ses différentes étapes.

“Il s'agit quasiment de leur apprendre la démarche expérimentale.” (E, R 1).

“La germination je trouve que c'est très bien pour détailler les différentes étapes de la démarche expérimentale.” (G, R 18).

L'enseignant G relativise cependant cette conception unitaire :

“Des élèves pourraient avoir une mauvaise note, si au niveau du raisonnement, au niveau de la conception de la démarche... bien qu'il n'y ait pas qu'une seule démarche, c'est une question de logique.” (G, R 27).

prépondérance
d'une démarche
analytique avec
séparation stricte
de facteurs

Remarquons que les démarches relatées sont essentiellement des démarches explicatives par résolution de problème. Les investigations mises en œuvre se réfèrent le plus souvent à une démarche analytique de type physico-chimique, avec séparation stricte des facteurs.

“La notion de témoin semble acquise (...) le fait de travailler sur un seul facteur à la fois également.” (B, R 14).

“Ils ont du mal au début à ne faire varier qu'un seul facteur.” (F, R 8).

• **Ce qui n'est pas abordé**

peu
d'exploration

Les démarches relatées se situent essentiellement dans un contexte de validation et les démarches d'exploration sont peu évoquées.

Alors que les recherches scientifiques se définissent parfois à partir des matériaux disponibles (Clarke et Fujimura, 1996), aucun enseignant n'a évoqué la réalisation de mini-projet, même si certains prennent le temps dans le cadre de l'option de faire connaître le matériel disponible :

peu de projet

“Je les emmène dans le labo pour leur montrer ce qu'ils ont à leur disposition, le matériel.” (C, R 3).

“Les élèves ne savent pas quels types de TP faire même si on leur montre le matériel.” (G, R 1).

Ce dernier envisage également une autre approche :

“On pourrait s'y prendre autrement en leur disant voilà le matériel que l'on a, les différentes expériences que l'on peut faire mais je ne suis pas sûr que ça leur apporte autant.” (G, R 14).

la complexité et
la variabilité du
vivant ne sont
pas évoquées

Aucun entretien ne fait allusion à des investigations permettant une approche de la complexité ou de la variabilité biologique (investigation sur des populations de graines, démarche systémique...). Remarquons également que l'in-

vestigation documentaire est un point rarement abordé. Le professeur C propose des dossiers bibliographiques tandis que E témoigne de l'absence de documents adaptés :

"Ce sont eux qui devaient aller chercher les documents à la bibliothèque... ils avaient des documents assez difficiles à étudier... globalement c'était beaucoup trop difficile pour eux." (E, R 11).

• **Déficit de situation de familiarisation**

"Les élèves ont eu beaucoup de mal à poser une problématique... ils ont évidemment beaucoup de mal puisqu'ils n'ont jamais appris à travailler avec ce genre de méthode." (A, R 1).
"Si je leur demande entièrement de poser les problèmes, fiasco..." (E, R 20).

"Le plus dur pour eux, je pense que c'est le problème." (F, R 4).

La moitié des enseignants interviewés soulignent que l'émergence d'un problème scientifique demeure ardu.

D'autres commentaires peuvent être relevés :

"Ils ont peu l'habitude de manipuler... Par exemple en Seconde ils ne savent pas utiliser un microscope et, en Première S, c'est limite." (A, R 31).

"Manifestement, en Seconde, pas mal d'élèves n'ont jamais touché un microscope." (B, R 27).

Ils témoignent de la non-maitrise par les élèves d'instruments ou de procédures d'investigation. Toutes ces difficultés peuvent être interprétées comme un déficit de référent empirique du mode de familiarisation pratique, en relation avec un déficit de situation de familiarisation.

• **Conceptions des enseignants de biologie sur l'option en physique-chimie**

L'option sciences expérimentales est, dans les textes officiels, commune aux Sciences de la Vie et de la Terre et à la physique-chimie (BOEN 19, 3 juin 1993). Cette mise en commun reste, dans la pratique, complètement virtuelle et, quand ils abordent ce point, les enseignants de biologie interviewés sont unanimes pour considérer qu'il existe une importante différence de mise en œuvre.

"Je pense que c'est plutôt de la cuisine, du TP sur fiche... Ce qui pose problème en bio car là il faut qu'ils réfléchissent par eux-mêmes et ils n'aiment pas trop réfléchir, ils préfèrent le TP classique, suivre un protocole... c'est plus rassurant." (A, R 33).
"L'esprit n'est pas du tout le même : ce sont essentiellement des savoir-faire manipulateurs : manipuler des appareils, recueillir des résultats, ce n'est pas autour de la démarche : poser et résoudre un problème, cela vise à l'acquisition de techniques expérimentales." (B, R 24).

"En sciences physiques, il n'y a pas de problème, ils ont monté des TP qui sont notés, le matériel et le protocole sont prêts et les élèves réalisent le TP." (D, R 25).

des difficultés
avec le
problème

un déficit
de référent
empirique

“En physique-chimie ils imposent tous les TP qu’ils font.” (E, R 18).

“En sciences physiques, ils ne fonctionnent pas comme nous, ils font plutôt comme dans le cas de la spécialité, des thèmes abordés, des manipulations mais ils ne sont pas libres dans la conception de choses, ils n’interviennent pas. En fait, c’est de l’application et c’est bien plus rassurant pour tout le monde.” (G, R 44).

3.4. Faire des choix

Six entretiens de professeurs de Sciences de la Vie et de la Terre parmi les sept, relatifs à l’option sciences expérimentales, placent l’option dans un contexte de mode d’investigation empirique. Cependant, dans cinq entretiens, le contrôle pédagogique mis en œuvre correspond le plus souvent à un mode d’élaboration théorique. Les enseignants éprouvent des difficultés à mettre en cohérence un mode d’activité didactique et un contrôle pédagogique adapté pour les pratiques expérimentales en classe.

difficultés pour
certains
enseignants...

Les propos recueillis reflètent des conceptions maximalistes sur l’intérêt didactique des activités expérimentales : participer, à chaque fois et en même temps à une élaboration théorique et à une validation empirique, avec peu de place attribuée à l’exploration. Nous avons montré que ces difficultés pouvaient provenir :

- de la confusion des contrôles pédagogiques d’une situation d’investigation empirique et d’une situation d’élaboration théorique,
- d’un déficit de situation de familiarisation pratique.

White (1996), en reprenant des catégories d’objectifs définis en Angleterre dans les années soixante (savoir-faire, concepts, habiletés manuelles, compréhension de la nature des sciences et attitudes), soulignait qu’une des difficultés principales des professeurs concernant les pratiques expérimentales était qu’ils avaient à poursuivre tous ces desseins à la fois. Si, dans les séquences de classe, les modes didactiques ne sont pas bien clarifiés, il y a confusion dans le contrôle pédagogique. Il est nécessaire de faire des choix. C’est dans cet esprit, que Jean-Pierre Astolfi (1991), avec l’exemple de la géologie à l’école élémentaire, propose différentes logiques de construction d’une séquence d’apprentissage en sciences. Dans l’exemple retenu, les séquences pouvaient être commandées par l’exploitation d’une situation, par l’acquisition d’un savoir, par la maîtrise d’une méthode ou bien par le franchissement d’un obstacle.

... dans la mise
en œuvre d’un
contrôle
pédagogique
adapté à un
mode
d’investigation
empirique

4. LES PRATIQUES EXPÉRIMENTALES ÉVOQUÉES DANS DES TEXTES OFFICIELS

les
recommandation
"officielles"
concernant
les pratiques
expérimentales

Yves Chevillard (1985) appelle *noosphère* la sphère de ceux qui ont, d'une manière ou d'une autre, une influence sur les contenus d'enseignement. Ce vocable désigne une "nébuleuse" très diversifiée : les universitaires intéressés par les questions d'enseignement, les inspecteurs, les didacticiens, les auteurs de manuels, les associations de spécialistes, les représentants de syndicats... L'analyse que nous proposons dans cette partie n'est que très partielle et ne porte que sur une composante de la noosphère. Elle n'a été effectuée que sur une préface de guide pédagogique — texte non officiel mais identifié — et sur quelques Instructions — textes officiels et signés par le ministre mais dont la rédaction reste, de fait, anonyme. Les recommandations provenant de ces textes aident-elles les enseignants à se positionner dans les choix à faire par rapport aux pratiques expérimentales ?

4.1. Valorisation de principe de la démarche expérimentale

valorisation
de principe
de la démarche
expérimentale...

"L'entraînement à la démarche expérimentale est un des objectifs essentiels de la discipline ; pour un biologiste, l'expérimentation est un aspect permanent de son travail, à condition qu'elle soit intégrée dans une démarche, en réponse à un problème biologique clairement identifié." (6).

De nombreux textes valorisent la démarche scientifique et surtout la démarche expérimentale.

4.2. Amalgame de registres différents

"Émission d'hypothèses, recherche d'un protocole expérimental éventuel pour les tester, mise en œuvre de ce protocole permettent à l'élève la construction progressive du savoir, tout en développant ses capacités d'observation, de raisonnement, d'habileté gestuelle." (7).

Peut-être par manque de concepts pour penser les problèmes, les recommandations concernant les pratiques expérimentales restent le plus souvent ambiguës, avec des difficultés pour discerner les différents registres et les différents modes. Alors que les contrôles pédagogiques diffèrent selon les modes, des textes officiels laissent souvent transparaître une totale confusion. Nous émettons l'hypothèse que ces textes reflètent les conceptions de leurs rédacteurs, avec une culture commune d'anciens professeurs, et représentent une traduction officielle des conceptions en actes des enseignants. Le

(6) Préface signée de Bernard Kern, Inspecteur général de Biologie-Géologie, au livre *Travaux Pratiques de Biologie*, Didier Érudition, Bords, 1994.

(7) Ibidem.

statut de textes officiels, en imposant un cadre qui formalise ce qui était en acte, contribue ensuite à conforter ces conceptions.

Dans les instructions officielles françaises, les modes didactiques concernant les pratiques expérimentales sont assez bien clarifiés pour l'enseignement élémentaire et pour l'option sciences expérimentales de Première S. Pour l'enseignement élémentaire, les pratiques expérimentales préconisées se situent essentiellement dans des situations de familiarisation pratique et un peu dans des situations d'investigation empirique (cycle 3). Pour l'option sciences expérimentales de Première S, les recommandations se placent dans un mode d'investigation.

“En Sciences de la Vie, les thèmes proposés ont, quant aux connaissances, des objectifs nouveaux limités. Leur étude peut fournir l'occasion de confier aux élèves, en équipe, la conception et la mise en œuvre de projets d'ampleur raisonnable, impliquant une recherche personnelle (pratique, expérimentale, documentaire), pour laquelle le professeur soit en mesure de les guider.” (I. O. option classe de Première S, 1992).

Pour les autres niveaux de l'enseignement secondaire, on constate la disparition de tout mode de familiarisation pratique et un amalgame des modes d'investigation empirique et d'élaboration théorique. L'enseignement des Sciences de la Vie et de la Terre en classe de Seconde, par exemple, *“doit permettre à tout élève d'approfondir sa formation méthodologique, notamment en développant sa maîtrise de la démarche expérimentale”*. Pour permettre à la fois la construction conceptuelle (mode d'élaboration théorique) et la formation à des démarches scientifiques (mode d'investigation), les orientations générales du programme préconisent de *“s'appuyer largement sur des activités pratiques et expérimentales, sur une référence constante au concret”* (I. O. classe de Seconde, 1992).

Le programme se présente ensuite sous la forme de trois colonnes. La première colonne précise les “contenus”, la suivante les “objectifs cognitifs” et la dernière les “activités envisageables”. Dans l'exemple ci-après (document 5), concernant l'enseignement de la photosynthèse, on constate que les activités sont, de fait, assez réduites. Elles concernent essentiellement des observations ou des expériences de “mise en évidence” de phénomènes. Si les recommandations générales du programme juxtaposent mode d'investigation empirique et mode d'élaboration théorique, la lecture attentive de celui-ci atteste que seules les situations d'élaboration théorique peuvent pratiquement être mises en œuvre. *“Si on fait de la méthodologie, on ne fait pas le programme.”* remarquait l'enseignant G à propos des activités expérimentales hors option (G, R 27). Cette colonne n'est certes qu'indicative et l'enseignant a libre choix pour proposer d'autres activités ou pour mettre en place des séquences avec des démarches scientifiques d'investigation (mode d'investigation). Les recommandations officielles ne l'aident cependant pas beaucoup à effectuer ses choix.

... mais
prépondérance
du champ
conceptuel

Document 5. Programme de Première S (1992)
Flux d'énergie et cycle de la matière à l'échelle des écosystèmes et de la biosphère

CONTENUS	OBJECTIFS COGNITIFS	ACTIVITÉS ENVISAGEABLES
<p>- L'énergie du rayonnement solaire, source initiale d'énergie pour la majorité des êtres vivants d'un écosystème.</p> <p>- Conversion de l'énergie radiative en énergie chimique chez les organismes chlorophylliens.</p>	<p><i>Au sein des écosystèmes, les végétaux chlorophylliens utilisent l'énergie des radiations solaires, absorbées par leurs pigments chlorophylliens, pour la synthèse de leurs matières minérales. Ils assurent ainsi la conversion d'une partie de l'énergie des radiations solaires en énergie chimique de leurs constituants organiques, énergie utilisée par l'ensemble des êtres vivants de l'écosystème.</i></p> <p><i>Les chloroplastes sont le siège de l'ensemble des réactions de la photosynthèse. Celle-ci se réalise en deux étapes couplées : la phase de conversion de l'énergie radiative, au cours de laquelle l'ATP est produit et la phase d'assimilation, au cours de laquelle apparaissent les premières molécules organiques.</i></p> <p><i>Les mécanismes biologiques de la photosynthèse obéissent à des lois physico-chimiques. Ils sont rendus possibles par l'association, au sein des structures du chloroplaste, des pigments chlorophylliens et de multiples enzymes dont la synthèse est programmée dans le génome végétal.</i></p>	<p>- Spectre d'action de la lumière.</p> <p>- Spectre d'absorption des pigments chlorophylliens.</p> <p>- Réaction de Hill (EXAO).</p> <p>- Observation de l'ultrastructure d'un chloroplaste.</p>

4.3. Un enseignement par problèmes ?

Pour permettre la double visée de construction de connaissances et d'acquisitions méthodologiques, les textes officiels préconisent de développer un enseignement par problèmes scientifiques.

"Les investigations conduites à partir de ces problèmes familiariseront les élèves avec des raisonnements scientifiques, avec des observations à diverses échelles, avec des mesures

tout concilier
à tout moment

et leur exploitation, avec la conception, la réalisation et l'utilisation des dispositifs expérimentaux, d'instruments et de maquettes, avec des recherches documentaires et bibliographiques." (I. O. classe de Première, 1992).

Il semble qu'à tout moment, qu'en toute séquence, on veuille tout faire, concilier à la fois une situation d'élaboration conceptuelle et une situation de formation aux démarches scientifiques, sans établir de priorité dans les contrôles pédagogiques.

En fait, les savoirs scolaires envisagés dans les programmes ne sont pas en relation avec de réels problèmes scientifiques et fonctionnent toujours comme des savoirs opérants extrinsèques (Orange, 1997). Dans les manuels de lycée, cet enseignement par problèmes, recommandé comme méthode de construction des savoirs, apparaît le plus souvent comme un artifice — pour ne pas dire un artefact — avec une problématique trop générale ou qui se réduit à une série de questions sans grand intérêt heuristique (Brunet, 1996).

4.4. Vers une évolution des conceptions officielles ?

Les discours officiels sur les pratiques expérimentales semblent évoluer cependant. Le groupe "Physique-Chimie" de l'inspection générale a mené une réflexion (1996) sur la place des pratiques expérimentales proposées aux élèves dans l'enseignement. Il en ressort que les expérimentations sont efficaces si elles rendent les élèves actifs et créatifs et si les objectifs assignés à ces séances de travaux pratiques sont clairement énoncés par l'enseignant (B. O. 45, 1996).

"Bien évidemment, les activités expérimentales différeront en fonction des objectifs prioritaires visés :

- *TP où l'on se fixera pour objectif de développer l'initiative et la pratique de la démarche expérimentale, (a)*
- *séance courte s'il s'agit d'apprendre à se servir d'un appareil de mesure dont l'utilisation sera reprise ultérieurement, (b)*
- *séance guidée, temporairement directive pour collecter un ensemble de mesures, les analyser et réfléchir à la précision de la méthode, (c)*
- *activités s'étendant sur deux ou trois séances dans le cas d'un mini-projet." (d)*

la nécessité
de faire des choix

Ces recommandations peuvent être lues comme une aide à la clarification des différents modes didactiques de pratiques expérimentales :

- situation de familiarisation pratique : recommandation b
- situation d'investigation empirique: recommandations a et d
- situation d'élaboration théorique : recommandation c.

Il en résulte qu'on ne puisse pas tout faire à tout moment et que la clarification du registre est indispensable pour choisir le mode d'activités et le contrôle pédagogique à mettre en place.

CONCLUSION

Dans l'enseignement des sciences en France, les priorités des guidages pédagogiques correspondent, globalement, à la gestion d'activités à l'école élémentaire, à l'enseignement de contenus au lycée, avec des positions intermédiaires au collège. Le point de vue développé sur les pratiques expérimentales dans cet article est de montrer qu'il serait possible, dans le secondaire, d'offrir d'autres facettes de l'éducation scientifique, et d'aider les enseignants de sciences à clarifier leur position lors de la conception des différents enseignements qu'ils auront à assurer.

Dans une perspective curriculaire, les propositions de différents modes didactiques de pratiques expérimentales peuvent contribuer à éclaircir les questions concernant la constitution et l'élargissement d'un référent empirique pour l'enseignement d'un concept d'une part, et les questions concernant l'apprentissage de compétences méthodologiques d'autre part. Pour permettre de valoriser le rôle éducatif du mode d'investigation empirique, tel qu'il est proposé par exemple dans les options de Première scientifique, il apparaît indispensable que le curriculum prenne réellement en charge les compétences développées au cours de cet enseignement, notamment au niveau des évaluations, des certifications et des examens.

Maryline COQUIDÉ
 Université et IUFM de Rouen
 GDSTC/LIREST ENS Cachan

BIBLIOGRAPHIE

ASTOLFI, J.-P. (1991). "Quelques logiques de construction d'une séquence d'apprentissage en sciences : l'exemple de la géologie à l'école élémentaire". *Aster*, 13, 157-186. Paris : INRP.

BRUNET, Ph. (1996). *Le statut de l'expérimental dans l'enseignement de la biologie*. Rapport multigraphié. DEA ENS Cachan.

CAUZINILLE-MARMÈCHE, E., MATHIEU, J. & WEIL-BARAIS, A. (1983). *Les savants en herbe*. Berne : Peter Lang.

CHEVALLARD, Y. (1985). *La transposition didactique*. Grenoble : La pensée sauvage.

CLARKE, A. & FUJIMURA, J. (dir.) (1996). *La matérialité des sciences. Savoir-faire et instruments dans les sciences de la vie*. Paris : Synthélabo, coll. *Les empêcheurs de penser en rond*.

- DÉSAUTELS, L. & LAROCHELLE, M. (1993). "Constructivistes au travail : propos d'étudiants et d'étudiantes sur leur idée de science". *Aster*, 17, 13-39. Paris : INRP.
- DEWEY, J. (1895, 1962). "L'intérêt et l'effort". *L'école et l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- DUGGAN, S. & GOTT, R. (1995). "The place of investigations in practical work in the UK National Curriculum for Science". *I.J.S.E.*, 17, n° 2, 137-147.
- GIORDAN, A. (dir.) (1983). *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*. Berne : Peter Lang.
- HOST, V. (1991). "Les paradigmes organisateurs de l'enseignement de la biologie". *Cahiers Pédagogiques*, 298, 28-32.
- INRP (coll.) (1976). *Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire, 4 : Initiation biologique*. Paris : INRP, coll. *Recherches pédagogiques*, 86.
- LAKIN, S. & WELLINGTON, J. (1994). "Qui enseignera l'épistémologie des sciences ? Conceptions d'enseignants et conséquences pour l'enseignement des sciences". *Aster*, 19, 175-194. Paris : INRP.
- LEMEIGNAN, G. & WEIL-BARAIS, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette.
- MARTINAND, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- MARTINAND, J.-L. & al. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- MARTINAND, J.-L. & al. (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- MARTINAND, J.-L. (1996). "Introduction à la modélisation". In *Acte du séminaire de didactique des disciplines techniques*. ENS Cachan.
- MILLAR, R. (1996). "Investigations des élèves en science : une approche fondée sur la connaissance". *Didaskalia*, 9, 9-30.
- NOTT, M. (1996). "When the black box springs open : practical work in schools and the nature of science". *I.J.S.E.*, 7, 807-818.
- ORANGE, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF.
- ORLANDI, É. (1993). "Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale". *Aster*, 13, 111-132. Paris : INRP.

ROBARDET, G. (1995). *Didactique des sciences physiques et formation des maîtres : contribution à l'analyse d'un objet naissant*. Thèse de Doctorat, Université Joseph-Fourier, Grenoble.

TAVERNIER, R. (1978). *L'éveil de l'enfant par les activités scientifiques*. Paris : Bordas.

WHITE, R. (1996). "The link between the laboratory and learning". *I.J.S.E.*, 7, 761-774.

ENSEIGNER DE FAÇON CONSTRUCTIVISTE, EST-CE FAISABLE ?

Anne Vérin

Nous analysons ici ce qu'en disent des enseignants engagés dans une recherche coopérative sur l'enseignement des sciences expérimentales de 8 à 16 ans. En leur demandant de parler d'une séquence qu'ils ont construite et mise en œuvre dans leur classe, nous cherchons à comprendre quelle lecture de la situation ils font et comment celle-ci oriente leurs prises de décision. Parmi les propositions élaborées dans le groupe de recherche, sur quels ressorts s'appuient-ils de façon privilégiée pour faire évoluer la pensée des enfants, comment s'ajustent-ils aux difficultés rencontrées ? Cinq études de cas s'organisent autour de l'épisode vécu par chacun des enseignants comme le plus significatif, dans le contexte d'un enseignement de la nutrition végétale en classe de Sixième. Ces études sont complétées par un panorama plus large reprenant, à partir des discours des dix-huit enseignants interrogés, les nœuds de tension rencontrés dans la mise en œuvre d'un enseignement de type constructiviste, et les compétences qu'ils disent avoir acquises à travers leur participation à la recherche.

impact limité
des théories
constructivistes
sur
l'enseignement
scientifique

des connaissances
didactiques
encore
parcellaires

Les recherches en didactique des sciences expérimentales ont montré la grande résistance des représentations et des modes de pensée des élèves, qui peuvent se constituer en obstacles à la construction des connaissances scientifiques. Elles ont élaboré des modalités pour leur prise en compte dans l'organisation de l'enseignement en vue d'améliorer son efficacité. Les résultats convergents de ces travaux, et la perspective constructiviste qu'ils contribuent à étayer, rencontrent un intérêt certain dans les milieux de formation. Cependant ils semblent avoir une influence plus faible sur les pratiques habituelles de l'enseignement des sciences. Plusieurs raisons peuvent être avancées pour l'expliquer. Tout d'abord, la conduite d'un enseignement centré sur les idées des élèves demande à la fois une maîtrise des contenus à enseigner et une bonne connaissance des représentations et modes de pensée des élèves ainsi que des activités pertinentes pour les faire évoluer. Or, si de nombreux champs conceptuels ont fait l'objet d'études (1), les

- (1) Voir par exemple, pour ne citer que quelques ouvrages de synthèse parmi les plus récemment parus en langue française : Astolfi J.-P. et al. (1997), *Mots-clés de la didactique des sciences*, Bruxelles : De Boeck ; Giordan A., Girault Y., Clément P., eds (1994), *Conceptions et connaissances*, Berne : Peter Lang ; Toussaint J. et al. (1996), *Didactique appliquée de la physique-chimie*, Paris : Nathan ; Robardet G. et Guillaud J.-C. (1997), *Éléments de didactique des sciences physiques*, Paris : PUF ; Viennot L. (1996), *Raisonner en physique ; la part du sens commun*, Bruxelles : De Boeck.

un changement radical des conceptions de l'enseignement

des contraintes dont il faut tenir compte

la parole d'enseignants engagés dans une recherche

recherches didactiques sont encore trop peu développées pour proposer des connaissances relatives à l'ensemble du curriculum scolaire et directement transposables à l'enseignement. Une deuxième raison tient à la rupture épistémologique et méthodologique que ce type d'enseignement nécessite (Robardet, 1994 et dans ce numéro). Les enseignants sont amenés à changer, non seulement leurs conceptions de l'apprentissage et de l'enseignement scientifique, mais aussi les façons d'enseigner qu'ils ont formées au cours des années et dans lesquelles ils se montrent compétents, pour s'aventurer dans de nouvelles modalités incertaines. Enfin les propositions d'enseignement issues de la recherche sont parfois élaborées dans des conditions d'enseignement privilégiées, hors des contraintes de la situation réelle, ce qui est nécessaire pour l'avancement des connaissances mais rend leur généralisation problématique.

Avec en perspective cette dernière raison, une recherche de l'INRP a choisi de se placer dans les conditions habituelles d'enseignement en associant près de vingt enseignants à toutes les phases de la recherche.

La recherche explore une des modalités possibles de la prise en compte des représentations des élèves : la mise en œuvre, avec des élèves de 9 à 16 ans, de séquences centrées sur des "objectifs-obstacles" (Martinand, 1986) dans le champ des transformations de la matière. Sont abordés en particulier, en physique les états de la matière, en chimie la réaction chimique et en biologie la respiration et la nutrition. Les séquences de classe conçues et expérimentées sont le résultat de compromis entre raisons théoriques et contraintes de divers ordres. C'est en effet nécessaire pour examiner comment les hypothèses théoriques résistent dans le contexte complexe de la classe et quels sont les obstacles aux transformations projetées. Les analyses produites ont donné lieu à de nombreuses publications des chercheurs et des enseignants associés (2).

Pour apporter un autre éclairage à la question de la faisabilité des propositions de la recherche, nous nous sommes intéressés à la façon dont les enseignants ont vécu cette forme d'enseignement. Cette enquête complémentaire peut aider à comprendre la logique des prises de décision, le poids des difficultés rencontrées en situation, les éléments moteurs, et plus généralement les conditions qui paraissent nécessaires aux acteurs pour que des modalités d'enseignement s'inscrivent dans un paradigme constructiviste soient réalisables.

(2) Recherche "Objectifs-obstacles et situations d'apprentissage dans le champ conceptuel des transformations de la matière". Voir Astolfi, Peterfalvi (1993) ; Peterfalvi, Vérin (1996) et plusieurs articles dans les numéros 24 et 25 de la revue *Aster*.

1. QUESTIONS ET MÉTHODOLOGIE DE L'ENQUÊTE

- **Des situations d'apprentissage visant un dépassement des obstacles, mode d'activité didactique particulier dans un modèle composite constructiviste**

<p>apprendre c'est passer de système de pensée en système de penser...</p>	<p>Il est nécessaire de donner d'abord quelques éléments de la problématique de la recherche à laquelle les enseignants ont participé pour comprendre le contexte dans lequel ont été conçues les séquences dont ils parlent.</p>
<p>... au prix de ruptures</p>	<p>La construction de connaissances scientifiques est conçue comme un processus spiralaire qui engage des réorganisations du système d'idées des élèves et rencontre des obstacles qu'il s'agit de déconstruire. Cette conception s'oppose à l'idée selon laquelle l'apprentissage est linéaire, chaque leçon devant conduire à un acquis qui vient s'ajouter aux précédents pour aboutir à un savoir de façon cumulative. <i>Le savoir à enseigner</i> est défini en termes de niveaux de formulations et mis en relation avec les <i>obstacles épistémologiques</i> relatifs au champ conceptuel des transformations de la matière, aux trois niveaux d'enseignement, école, collège et lycée, de façon à sélectionner ceux qu'il est important de dépasser à un moment donné du cursus.</p>
<p>acquérir des connaissances scientifiques définies par l'institution...</p>	<p>La résistance des obstacles, que l'on voit resurgir régulièrement dans de nouveaux contextes d'apprentissage, justifie l'organisation de <i>dispositifs</i> centrés sur des objectifs-obstacles. Ceux-ci répondent à une logique spécifique articulant deux termes en tension. Ils demandent aux enseignants de tenir fermement à leur projet d'enseignement alors que précisément ils peuvent s'attendre à une résistance des élèves à abandonner les idées qui font obstacle à ce projet. Ils demandent en même temps de mettre les idées des élèves au centre du débat et de négocier des activités et des connaissances qui prennent du sens pour eux. C'est bien à la "<i>question de la construction du sens</i>" (Johsua, 1989) que ces dispositifs cherchent à répondre, en tentant de définir des conditions dans lesquelles les situations sont à la fois très maîtrisées, visant des effets en conformité avec le rapport au savoir scientifique déterminé par l'institution, et suffisamment ouvertes pour définir à l'élève un "<i>espace de construction du sens</i>". L'enseignant est ainsi amené à prendre en compte dans une même action différentes exigences qui peuvent paraître antagonistes. Il doit s'inscrire dans un système de tensions portant sur les dimensions suivantes :</p>
<p>... qui prennent du sens pour les élèves</p>	
<p>des dispositifs pilotes par des objectifs- obstacles...</p>	
<p>... où l'enseignant doit gérer des exigences en tension</p>	<ul style="list-style-type: none"> - logique de déstabilisation cognitive et logique d'élaboration d'une nouvelle connaissance ; - action à court terme et travail sur des obstacles qui résistent à long terme ;

la flexibilité nécessaire	<ul style="list-style-type: none"> - confrontation d'idées conflictuelles et coopération pour la recherche d'une explication acceptée par tous ; - co-construction par le groupe classe et construction individuelle. <p>La recherche propose des scénarios de séquences, certains ont été construits à l'avance et d'autres ont été mis au point au fur et à mesure à partir d'une trame et d'un projet didactique préétabli. Mais dans tous les cas, une flexibilité est nécessaire dans la gestion de la classe, de façon à s'adapter au cheminement du groupe classe particulier.</p>
l'implication des élèves	<p>Les <i>activités intellectuelles</i> sollicitées de la part des élèves demandent une forte implication personnelle, puisqu'il s'agit que les élèves mettent en jeu leurs propres systèmes explicatifs et les modifient. Un climat coopératif instaurant des échanges et des confrontations des idées est en contrepartie nécessaire pour rendre cet investissement possible, et permettre que les erreurs jouent un rôle de point d'appui pour la progression des connaissances. On s'attend à un processus d'apprentissage non linéaire avec régressions et réorganisations.</p>
un climat de coopération	<p>Trois types d'activités cognitives sont visés, de façon complémentaire mais pas nécessairement successive, à travers les tâches proposées aux élèves : la <i>déstabilisation</i> de leur système explicatif, la <i>construction</i> d'un nouveau système explicatif et l'<i>identification</i> des idées qui ont joué comme obstacle à cette nouvelle connaissance.</p>
un modèle d'enseignement composite associant une diversité de modes d'action didactique	<p>Loin d'être le seul mode d'enseignement envisagé, les séquences pilotées par l'obstacle sont conçues comme complémentaires des séquences pilotées par la situation, la notion, la démarche ou la production (Astolfi et al., 1997). La diversité de modes de commandes permet d'organiser les activités de façon raisonnée en fonction d'une priorité identifiée, mais c'est l'ensemble qui concourt à la réussite de l'enseignement.</p>
les propos d'enseignants...	<p style="text-align: center;">• Le recueil du point de vue d'enseignants sur leur pratique</p> <p>Des entretiens semi-directifs ont été conduits à l'issue de la recherche avec dix-huit professeurs associés à la recherche. Ces enseignants ont choisi de participer à cette recherche sur la base d'une adhésion au paradigme constructiviste. Ils ont participé pendant quatre ans à toutes les phases de la recherche : élaboration théorique, analyses des contenus à enseigner et des représentations des élèves, choix des objectifs-obstacles, mise au point des dispositifs et essais successifs dans leurs classes, recueil et analyses des corpus, pour certains rédaction d'articles.</p> <p>Le protocole de questionnement et le mode de relance adoptés visent à susciter un discours sur les pratiques, et sur les raisons qui ont guidé les prises de décision.</p> <p>Trois niveaux d'expression sont sollicités :</p>

... sur leur
pratique
d'enseignement
...

- la description du déroulement de la dernière séquence conduite par l'enseignant dans le cadre de la recherche sur les objectifs-obstacles,
- le vécu de l'enseignant dans la situation avec un regard rétrospectif sur les réussites et difficultés rencontrées et les façons d'y faire face,
- les jugements sur les conditions de faisabilité du travail d'obstacle en situation réelle.

... dans
une perspective
constructiviste

Les discours recueillis sont lus de façon comparative et confrontés à un ensemble de données disponibles par ailleurs (relevés d'observations, enregistrements, productions d'élèves), dans une approche compréhensive qui cherche à rendre compte des principes organisateurs de la conduite de la classe.

• Moteurs et freins pour un enseignement constructiviste

la question
de la faisabilité
scolaire de cette
modalité
d'enseignement

On peut considérer ici que le travail didactique des obstacles joue comme révélateur de nœuds de difficultés dans la conduite de la classe, difficultés qui existent dans tout enseignement constructiviste, mais qui restent souvent masquées. Le choix délibéré de s'affronter aux obstacles à l'acquisition de concepts scientifiques, accompagné de la résistance à changer de système de pensée des apprenants, les met au premier plan. Il met en évidence également les éléments qui peuvent jouer un rôle moteur chez les enseignants. Les analyses proposées peuvent ainsi contribuer, au-delà du contexte particulier, à une meilleure connaissance des problèmes rencontrés dans la conduite de la classe à l'intérieur du paradigme constructiviste. Elles éclairent les contraintes dont il faut tenir compte dans le contexte habituel de l'enseignement.

moteurs et freins
dans la gestion
de la classe

En nous intéressant à des enseignants engagés dans un processus de transformation de leur enseignement en lien avec une théorisation didactique, nous nous proposons de mieux comprendre la logique des différentes situations pédagogiques mises en œuvre, par rapport aux transformations des conceptions de l'enseignement et de l'apprentissage qu'elles engagent. Nous cherchons à éclairer la façon dont elles sont vécues et dont elles retentissent sur l'image de soi comme professionnel de l'enseignement. Certaines des difficultés exprimées peuvent être interprétées en termes de tension entre le modèle pédagogique de référence de la recherche, dont les enseignants expérimentateurs partagent au moins globalement les présupposés théoriques, et un modèle pédagogique dominant qui joue de façon externe en organisant la réalité scolaire et qui peut rester partiellement intériorisé par ces mêmes enseignants.

les conceptions
de
l'enseignement
scientifique

Il s'agit de comprendre la logique de l'acteur et de différencier des logiques différentes à l'intérieur du paradigme constructiviste. Plutôt que de le considérer de façon monolithique en l'opposant à un enseignement transmissif tout

cinq épisodes, un même contenu : la nutrition végétale	aussi monolithique, on cherche à préciser différentes conceptions en acte dans ce contexte.
des logiques d'enseignement diversifiées	Pour pouvoir envisager comment le pilotage se fait par rapport au contenu conceptuel, nous nous intéresserons dans un premier temps à cinq enseignants qui ont conduit des séquences sur la nutrition végétale en classe de Sixième. L'analyse se centrera sur les épisodes critiques (Nott et Wellington, 1995) qui prennent un relief particulier dans chacun des entretiens.
dépasser la déstabilisation affective	Les trois premiers enseignants ont construit une trame commune, mais chacun a mis en œuvre une version personnelle de ce scénario. On verra que ce ne sont pas les mêmes activités qui leur ont paru jouer un rôle déterminant dans l'évolution de la pensée des élèves. Les deux enseignantes suivantes ont affronté un moment de désarroi des élèves face à la mise en question de leurs idées et l'ont heureusement résolu d'une manière personnelle. Nous proposerons une interprétation de ces épisodes par rapport à ce qui se joue au niveau des savoirs, de l'enseignement et de l'apprentissage dans le champ conceptuel considéré.
vue d'ensemble sur les tensions vécues	Ces cinq études de cas mettent en évidence des nœuds de difficultés que l'on retrouve dans l'ensemble des entretiens. Nous appuyant sur une lecture transversale des dix-huit entretiens, nous proposerons une vue d'ensemble sur les principales tensions et les différentes positions adoptées pour les résoudre.
les effets de formation	Enfin, la participation à la recherche, par le développement d'expertises qu'elle permet, donne des outils et des compétences pour fonctionner efficacement par rapport à ces difficultés. Ce qu'en disent les enseignants peut donner des pistes pour définir des besoins de formation (3).

2. DES "LEVIERS" DIFFÉRENTS SELON LES ENSEIGNANTS

Dans la recherche, les séquences mises en œuvre ont été planifiées de façon variable : parfois au fur et à mesure du déroulement des activités de classe, à partir d'analyses conduites par un petit groupe d'enseignants entre chaque séquence, et parfois à partir d'un scénario établi en commun au préalable. Nous nous intéresserons ici à une séquence réalisée à partir d'un scénario bâti au préalable, après plusieurs essais, et qui reposait sur plusieurs activités prévues comme "leviers" pour l'apprentissage. Cette

un scénario élaboré en commun

(3) Martine Delrue, Pierre Moral, Dominique Noisette et Richard Topczinsky ont participé à cette analyse dans le cadre de mémoires du DEA "*Enseignement et diffusion des sciences et des techniques*", LIREST, ENS de Cachan. L'analyse plurielle des entretiens a facilité la distanciation nécessaire, condition d'objectivité dans une méthodologie de recherche de type herméneutique (Astolfi, 1993)

trois variantes
dans la gestion
de la classe...

... et la lecture
du déroulement
de la séquence

dioxyde
de carbone,
un gaz toxique ?

séquence a été analysée du point de vue de la stratégie didactique (Astolfi, Peterfalvi, 1997) et du point de vue des parcours d'apprentissage d'élèves dans ce contexte (Sauvageot-Skibine, 1997). Nous l'analysons ici du point de vue des enseignants qui l'ont mise en œuvre. L'épisode qui a joué un rôle déterminant pour l'apprentissage diffère pour chacun. On le voit dans les variantes que chacun a introduites par rapport au scénario préalable, que nous connaissons par les descriptions données dans les entretiens et par les données recueillies pour la recherche qui confirment ces descriptions. Les explications de leur action et les interprétations de ce qui se passe pour les élèves manifestent des logiques d'action et un cadre interprétatif que nous tenterons de caractériser sous la forme de trois études de cas successives.

L'objectif visé par la séquence est la compréhension du double statut du dioxyde de carbone pour les plantes vertes, gaz respiratoire rejeté et gaz nutritif absorbé. Toutes les études montrent que les élèves de Sixième ont du mal à construire l'idée que le dioxyde de carbone intervient dans la synthèse de la matière de la plante. Un réseau d'obstacles intervient pour empêcher cette construction conceptuelle : l'alimentation est conçue comme une ingestion de matière, la matière est liquide ou solide, mais certainement pas gazeuse, les gaz n'interviennent que dans les échanges respiratoires, le CO₂ est toxique.

Une description du dispositif mis au point pour déconstruire ces obstacles donnera les points de repères nécessaires à la compréhension de ce qu'en disent les enseignants. Sans reprendre ici le détail des activités, qui sont disponibles par ailleurs, nous nous contenterons de distinguer sept phases, exposées succinctement ci-dessous.

- (1) Expression individuelle des représentations, par le biais d'un schéma d'un pied de tomate à compléter pour figurer comment la plante se nourrit et comment elle respire, puis par la confrontation des réalisations
- (2) Mise à l'épreuve des représentations par la prévision puis la réalisation d'expériences ; établissement du caractère nutritif de l'eau et des sels minéraux
- (3) Mise en évidence de la nécessité d'un autre apport nutritif, par l'interprétation d'un texte présentant l'expérience historique de Van Helmont sous une forme simplifiée (la masse de la plante augmente sans que celle de la terre diminue)
- (4) Déstabilisation des représentations sur le rôle du dioxyde de carbone par la confrontation des prévisions des élèves sur les résultats d'une expérience de l'INRA faisant varier le taux de dioxyde de carbone dans une culture de tomates hors sol sous serre
- (5) Construction du caractère nutritif du dioxyde de carbone à partir de la confrontation des prévisions aux résultats expérimentaux (la croissance des tomates est plus rapide et plus importante lorsque le taux de dioxyde de carbone est plus élevé) ; mise en relation avec les échanges gazeux dans la respiration, étudiée précédemment (le dioxyde de carbone est un déchet de la respiration)

(6) Consolidation de la nouvelle connaissance par la construction d'invariants du concept de matière (la matière a une masse et est constituée de particules), à l'aide de l'élaboration d'une représentation du processus par lequel le dioxyde de carbone intervient dans l'augmentation de masse constatée (modèles en *Légo*, papier, schémas)

(7) Expression des nouvelles conceptions en reprenant le schéma utilisé en (1) et comparaison entre les réponses initiales et finales de façon à faire prendre conscience de l'obstacle rencontré dans le cours du travail.

Ces phases mettent en acte les trois aspects didactiques essentiels de la construction de connaissances s'appuyant sur un travail des obstacles conceptuels à cette connaissance que la recherche propose :

- la déstabilisation des idées-obstacles, avec une première phase d'explicitation des représentations et de validation des idées que l'on peut conserver (1,2), et une deuxième phase de contradiction opposée aux idées-obstacles (3 et 4) ;
- la construction conceptuelle et la mise en place d'un nouveau mode de pensée (5 et 6) ;
- l'identification *a posteriori* de l'obstacle (7).

• Enseignante A : L'étonnement, moteur du changement de cadre explicatif individuel

la mise en scène de la contradiction logique...

L'épisode déterminant pour l'enseignant A c'est le moment d'étonnement créé par la contradiction entre le rôle "nocif" et le rôle "positif" attribués au dioxyde de carbone. Cette contradiction provoque un intérêt fort chez les élèves et les engage à mettre en question leurs idées. Le travail est "passionné", les élèves s'investissent, proposent leurs idées et les discutent.

L'étonnement intervient d'abord dans la phase (4), lorsque le plan d'expérience de l'INRA montre que la question du rôle du dioxyde de carbone dans la croissance des tomates peut se poser ; ce qui semble absurde aux élèves puisqu'en général, pour eux, le CO₂ est toxique et ne peut pas jouer de rôle dans la nutrition. À l'inverse, elle signale comme un problème l'effacement de cet étonnement lorsque les résultats scientifiques sont acceptés sans discussion : "*ça peut être effectivement un blocage et, hop, remettre leurs idées en dessous*". Il y a là un risque d'évitement du conflit cognitif par une mise entre parenthèses de leurs idées.

... provoque un étonnement qui déborde la sphère cognitive

Heureusement, l'étonnement resurgit lors du deuxième épisode-clé, dans la phase (5). Lorsqu'on leur demande de mettre en relation les échanges gazeux intervenant dans la nutrition et dans la respiration ; les acquis sur le rôle du dioxyde de carbone construits isolément dans chaque cas apparaissent contradictoires. Les idées de départ resurgissent et la rupture attendue peut se produire. C'est la contradiction logique avec leurs idées propres fortement ressentie par les élèves qui lui paraît donc déterminante pour qu'ils acceptent de changer de cadre explicatif.

la variété
des parcours
d'apprentissage
individuels...

... est le signe
de l'implication
cognitive
des élèves

du conflit
intracognitif
à la construction
sans tension

dans le contexte
bien maîtrisé...

Ce qui a particulièrement intéressé l'enseignante A, c'est la variété des parcours individuels d'apprentissage, perceptibles dans la classe et plus finement identifiés grâce aux analyses conduites dans le groupe de recherche. Elle insiste sur leur aspect non linéaire marqué par les avancées et reculs de chacun dans la suite des activités. Elle se démarque d'un enseignement traditionnel, où *"on dit ça, ils admettent, et c'est tout"* et qui conduit à *"une construction un petit peu préfabriquée, pas très durable"*, où les connaissances sont stratifiées et l'élève *"entasse"* et *"finalement en dessous c'était ce qu'il pensait"*. Cette forme d'enseignement, à laquelle elle adhère (*"j'aime beaucoup travailler comme ça"*), permet que *"tout le monde participe"*, *"chacun essaie de faire sa construction petit à petit"*. Les hauts et les bas sont pris comme des indices de l'activité cognitive des élèves. Elle reprend en cela à son compte l'hypothèse de non-linéarité de l'apprentissage. Elle le fait également quand elle situe les limites de ce travail : *"l'obstacle est fissuré"*, *"on l'a bousculé"*, *"on a posé des jalons, mais je ne sais pas si on a fait une construction"*, ce qu'elle précise plus loin en disant que la construction reste locale et qu'on peut s'attendre à ce que l'obstacle réapparaisse. Cette forme de séquence l'intéresse et elle continue dans ce sens, en mettant l'accent sur la prise en compte des idées des élèves : *"on est sans arrêt à l'écoute, on recherche, on modifie"*.

Par rapport au modèle de référence de la recherche qui joue sur les ruptures dans la pensée, cette enseignante décrit des processus de l'ordre de la résistance des obstacles et du conflit cognitif. On peut remarquer cependant qu'elle n'emploie jamais les termes de conflit, ni confrontation, et qu'elle ne signale pas de tension ou de réaction négative chez les élèves. Elle utilise peu le mot obstacle et le fait plutôt en référence à l'analyse préalable qui oriente la construction du dispositif. Les mots-clés de la recherche qu'elle emploie le plus sont discussion et construction.

À cela, plusieurs explications sont possibles. D'une part le fait qu'elle situe ce travail dans la continuité de son enseignement antérieur, avec une longue pratique menée en collaboration avec d'autres enseignants, qui lui donne la prise de distance et l'assurance nécessaires pour accepter les régressions et les à-coups dans l'évolution des élèves comme un indice positif de leur engagement intellectuel. Assurance renforcée par le travail d'analyse conduit au sein du groupe de recherche. La déstabilisation qu'elle signale n'est pas liée spécifiquement au travail de l'obstacle mais plus généralement à la modification de la coutume didactique que son enseignement introduit. Avant que les règles du jeu ne soient bien installées, certains élèves très scolaires attendent la bonne réponse, certains parents lui reprochent de ne pas *"faire le cours"*. Mais *"je suis tellement habituée à leur dire qu'il faut faire des erreurs que je pense que maintenant c'est acquis pour eux, on peut se tromper"*.

... d'un
raisonnement
interactif guidé

D'autre part, comme elle semble avoir toujours gardé le contrôle du raisonnement guidé dans lequel la succession des activités engage les élèves, les phases de déstabilisation cognitive sont restées dans des limites très contrôlées. L'analyse du contenu à enseigner en relation avec les obstacles lui donne la sécurité d'atteindre l'objectif limité, qui lui paraît clairement identifié et adapté à ce niveau de classe : la construction du double statut du dioxyde de carbone dans la respiration et dans la photosynthèse.

• **Enseignante B : L'argumentation
dans un débat contradictoire**

le débat...

Pour B, les épisodes déterminants sont les moments de confrontations entre élèves : *"Ce qui les a le plus bousculés, c'est de discuter entre eux, et de voir qu'en fait ils ne pensaient pas forcément pareil."*

La première confrontation a été organisée à partir d'un conflit entre élèves. Dans la phase (1), *"une bonne élève mais un peu timide"* présentait à la classe son schéma des entrées et sorties pour une plante verte où elle indiquait le dioxyde de carbone comme apport nutritif. L'unanimité se fait contre elle : *"mais non, mais qu'est-ce qu'on vient d'apprendre, le dioxyde de carbone, tu sais bien que c'est pour la respiration"*. Le professeur sent que l'élève est décontenancée. De tels échanges sont fréquents en classe mais jusqu'ici, dit-elle, elle ne les relevait pas. L'enseignante n'intervient pas sur le champ, elle laisse se dérouler la phase (2) qui permet aux élèves de développer leurs idées et de s'engager dans une dynamique. C'est à la fin de cette phase (2) qu'elle choisit de reprendre la contradiction des points de vue. Elle rappelle l'échange et pose la question *"est-ce qu'un gaz peut être nourriture ?"*. En donnant à la discussion la forme d'un débat entre les pour et les contre, elle introduit un aspect ludique. Cet aspect, pense-t-elle a beaucoup joué pour que les élèves s'investissent dans l'argumentation des deux idées, viennent défendre leur avis. Du coup, l'apport d'une contradiction logique par l'expérience de Van Helmont (phase 3) ne lui semble plus utile et elle la supprime. L'expérience de l'INRA et ses résultats dans les phases (4) et (5) viennent alors en prolongement du débat et prennent toute leur valeur argumentative pour permettre de trancher, et de finir de convaincre ceux qui refusaient encore d'attribuer un rôle nutritif au dioxyde de carbone. L'expérience scientifique apporte *"la vérité"* *"pour les réfractaires"*.

... pour donner
plus de poids
au conflit socio-
cognitif

investissement
cognitif
et affectif dans
l'argumentation

de grandes
capacités
d'analyse
chez les élèves

C'est une découverte pour B, qui se montre frappée de ce *"que des élèves de Sixième soient capables, dans certaines conditions, quand on les sollicite comme ça, de réfléchir autant"*. Par contraste avec A, on voit qu'elle met l'accent sur l'argumentation entre élèves, sur le niveau interpersonnel plus qu'intrapersonnel. La confrontation avec les résul-

dans un contexte
bien cadré

tats d'expérience lui paraît certes décisive, mais en un second temps, une fois le débat installé socialement.

Sa conception pédagogique est pour le reste très proche de celle de A. Le raisonnement est ici aussi très guidé, et c'est parce qu'elle sait que par le biais des résultats expérimentaux, puis des informations prévues dans la phase (5), elle pourra les amener à la bonne réponse qu'elle peut s'abstenir de prendre position dans ces différentes phases, et différer la résolution du conflit.

Dans le cadre d'un projet conceptuel bien cerné, et d'un travail guidé où l'expression est bien "cadrée", elle n'exprime pas d'incertitudes.

mais un dispositif
trop lourd pour
les conditions
habituelles
de classe

Pour expliquer ce qui lui paraît faisable dans les conditions habituelles d'enseignement parmi les propositions de la recherche, l'enseignante B décrit ce qu'elle en conserve après la fin de la recherche. Le projet conceptuel lui paraît cohérent, mais trop ambitieux pour la classe de Sixième. Elle préfère le limiter au travail de deux obstacles : le rôle exclusivement respiratoire attribué au dioxyde de carbone et les gaz non considérés comme matière. Elle estime que ce sont des obstacles persistants, qu'on ne peut qu'ébranler en Sixième. Et même si elle a pu constater que les élèves sont capables d'aller assez loin, elle constate aussi que ce qu'ils sont capables de produire en situation de groupe ne reste pas toujours disponible dans une production individuelle. Il lui semble de plus que la séquence sollicitait un effort de réflexion trop exigeant pour ce niveau de classe. C'est pourquoi elle ne retient pas les objectifs de modélisation particulière, ni de compréhension de l'assimilation. Sur le plan du dispositif, la phase d'identification de l'obstacle ne lui paraît pas utile. Elle retient avant tout l'organisation de confrontations, improvisées au moment où elle perçoit un conflit entre les idées des élèves, avec l'aspect ludique qui lui a paru efficace. Sa connaissance des obstacles, acquise par la recherche, lui permet de bien "cibler", "cadrer" les questions posées aux élèves. Mais, plutôt qu'une stratégie lourde, elle préfère réagir de façon impromptue, lorsque l'obstacle se manifeste, monter des séquences de confrontation lorsque des idées contradictoires sont exprimées par les élèves.

saisir
les occasions,
amplifier
les conflits
socio-cognitifs

• **Enseignant C : La modélisation comme aide
à penser la transformation de la matière**

C'est presque en fin de travail que l'enseignant C situe l'épisode le plus riche : l'activité de modélisation (lors de la phase 6), qu'il a d'ailleurs été le seul à mettre en place.

C'est quand il leur a demandé de modéliser le processus de fabrication de la matière de la plante, avec différents supports, éléments de *Légo*, matériel utilisé pour la modélisation en chimie, papier et crayons, que les élèves se sont le plus activement investis, dit-il. Les élèves "ont bien aimé : ils ont travaillé seuls, c'est leur modèle et ils en sont fiers ; ça les a marqués", "ils m'en reparlent". La tâche comprenait deux

représenter
concrètement
sa compréhension
du processus...

... met en évidence les contradictions...	aspects tout aussi importants l'un que l'autre : la réalisation matérielle des modèles, en petits groupes, et la discussion autour de ces modèles les amenant à expliciter ce que représente chaque élément et comment ils se déplacent, se lient, se transforment. Les modèles ont été repris, les élèves les ont "recassés" plusieurs fois pour arriver à représenter la transformation, et ces reprises ont joué un rôle important pour l'évolution de la pensée.
... et oblige à chercher une solution	C'est seulement à ce moment-là que certains ont pris conscience des contradictions dans leurs conceptions du phénomène et qu'ils ont essayé de les résoudre. C'est donc pour C le moment-clé où les idées initiales ont vraiment été déstabilisées et remplacées par une nouvelle construction intériorisée.
modélisation matérielle et verbalisation	Donner une forme matérielle à sa compréhension du processus lui paraît déterminant pour se construire une image mentale. Le modèle joue comme objet substitutif pour permettre de raisonner et facilite le passage d'un point de vue descriptif, centré sur les besoins de la plante, à la recherche d'explication du processus de croissance en termes de transformation de matière.
investissement des élèves...	Le professeur dans cette phase de modélisation a joué un rôle d'aide à l'explicitation de ce que les élèves avaient voulu représenter, et a apporté une aide méthodologique pour le raisonnement en rappelant que les modèles devaient rendre compte de l'augmentation de masse lors de la croissance.
... mis en danger dès que les élèves manquent de maîtrise	Sa forte préoccupation de créer les conditions pour un investissement des élèves se voit <i>a contrario</i> lorsqu'il décrit, dans un essai antérieur, un épisode négatif. Le texte décrivant l'expérience de Van Helmont (phase 3) était dans sa première version assez difficile à lire. La situation familière de manque de maîtrise a provoqué la passivité chez les élèves. Ils n'ont plus cherché à comprendre mais, pour la plupart, se sont contentés d'attendre "la solution" en disqualifiant leurs idées : "je me suis trompé" s'est substitué au "pourquoi". Travaillant sur une version du texte plus accessible l'année suivante, les élèves ont cette fois vécu la mise en défaut de leurs idées (la plante tire sa nourriture de la terre) comme un défi, ils ont cherché activement à comprendre d'où pouvait provenir l'augmentation de la masse de la plante : " <i>Je sentais une résistance, ils ne trouvaient pas... Ils suivaient réellement, c'était plus fort qu'eux.</i> "
un seuil dans le degré de difficulté	Il est de fait le seul des trois enseignants à avoir mis en place cette phase du scénario. Alors que les deux autres enseignantes ont estimé que l'on dépassait là les possibilités des élèves et les demandes du programme, lui, au contraire, est frappé par l'inventivité des élèves et leur forte mobilisation.
réseau d'obstacles plus large que pour A et B	Le réseau d'obstacles sur lequel cet enseignant travaille est plus large que pour les enseignants A et B : aussi bien en amont (l'obstacle selon lequel la terre nourricière tient lieu d'unique source nutritive) qu'en aval (croissance conçue comme juxtaposition de matière sans intégration des

une situation
plus ouverte

plus d'insécurité

apports à la matière de la plante). Tout en étant très sensible aux limites de ce que les élèves ont construit, il en est satisfait puisqu'il y a eu progrès intellectuel. Constaté en fin de travail que certains obstacles résistent (la nouvelle matière vivante construite s'ajoute telle quelle à la matière préexistante de la plante pour certains élèves) ne lui paraît pas remettre en cause le travail, puisqu'ils ont compris que le processus n'était pas un mélange mais une transformation. Ces représentations correspondent à ce qu'ils étaient capables de faire à ce moment-là, c'est un niveau de formulation provisoire, qui pourra évoluer dans la suite de la scolarité.

• *Variations sur un même thème*

un mode
d'enseignement
apprécié

les objectifs
sont atteints

les obstacles
sont ébranlés mais
non supprimés...

... comme prévu,
mais pourrait-on
faire mieux ?

rôle des
interactions
sociales :
co-construction (C)

explicitation
individuelle
sous le contrôle
du groupe (A)

Un des traits qui ressort des trois entretiens est la satisfaction que leur a donnée ce type d'enseignement. Le choix des objectifs-obstacles paraît pertinent à ces enseignants, il leur permet de donner une cohérence au projet d'enseignement. Les analyses préalables leur ont donné des outils pour comprendre les idées des élèves, et pour créer les conditions d'une mobilisation cognitive. Ils estiment que les activités ont bien conduit, comme c'était le but recherché, à des réorganisations du système d'idées des élèves.

En accord avec les propositions de la recherche, ils constatent la résistance des obstacles, qui ne sont pas et ne pourront pas être dépassés au terme d'une séquence, si bien conçue soit-elle. Cette résistance est interprétée comme un indice de la pertinence du choix, elle confirme qu'il s'agit bien d'obstacles importants qui justifient qu'on leur consacre un temps important.

Chacun en tire cependant des conséquences différentes. Les enseignantes A et B limitent leur ambition à la déstabilisation d'un obstacle principalement : le caractère nocif attribué au dioxyde de carbone, et à la construction du double statut respiratoire et nutritif du dioxyde de carbone. L'enseignant C, quant à lui, choisit de travailler un réseau plus large d'obstacles pour mieux les déstabiliser ; les constructions conceptuelles visées portent sur une explication en termes de transformation des substances.

Dans le cadre du même schéma pré-construit, les leviers privilégiés par chacun diffèrent : mise en contradiction des idées individuelles pour A, enjeu social dans des séquences de confrontation pour B, élaboration d'une image mentale à l'aide d'une représentation concrète pour C.

Les enseignants font tous les trois jouer un rôle important aux interactions sociales, mais mettent en jeu des types de co-élaboration différents, avec des dynamiques productrices de changement plus diverses et non limitées au conflit socio-cognitif au sens strict (Gilly, 1988). Pour C, c'est une co-construction où l'élément moteur est avant tout l'élaboration d'une solution commune, pour A une confrontation où la manifestation des désaccords renvoie chacun à son propre système de pensée ; dans ces deux cas, le groupe

conflit socio-cognitif (B)

joue plus un rôle de contrôle que de déstabilisation. C'est seulement pour B que l'on peut parler de conflit socio-cognitif – même si elle-même n'emploie ce terme qu'une fois (*"le fameux conflit"*) – dans la mesure où il s'agit de confrontations contradictoires avec désaccords argumentés, suivis d'une tentative de recherche de dépassement des oppositions.

gérer l'imprévu

Une des composantes de la compétence d'enseignement est de savoir décider dans l'instant, en fonction des multiples paramètres de la situation réelle, des ajustements nécessaires et de puiser pour cela dans le répertoire des activités dans lesquelles l'enseignant se sent à l'aise et qu'il investit personnellement. Tochon (1993) relève qu'un des traits de l'expertise des enseignants est de savoir utiliser son expérience pour gérer l'imprévu.

un dispositif prévu dans le détail...

Ici, le scénario était défini de façon très détaillée, la succession des tâches et les documents de travail avaient été prévus à l'avance. Même ainsi, on voit que la marge d'adaptation reste grande. C'est très important pour le travail didactique des obstacles. Par hypothèse, le travail des obstacles doit être en prise avec les conceptions des élèves, d'où la nécessité d'infléchir le scénario en fonction des propositions des élèves. Les dispositifs doivent être ouverts et permettre de laisser jouer la créativité des acteurs dans la situation : pour que ce que les élèves disent et font ait un impact, change le cours des activités en classe ; pour que l'enseignant fasse jouer son inventivité en fonction de la lecture qu'il fait de la situation et de sa personnalité. C'est peut-être cet investissement personnel des différents acteurs qui est le facteur de réussite le plus important. Nous rejoignons ici Meirieu (1995) : la nécessaire *"obstination didactique"* conduit à structurer la situation en tentant d'en traquer l'aléatoire jusqu'à ce qu'elle fonctionne à coup sûr – pour optimiser l'apprentissage. Car, dit-il, on n'investit un dispositif que si on y croit jusqu'au bout. Mais en gardant une *"double distance"* avec ce qu'on a organisé car le montage ne sera efficace *in fine* que moyennant la liberté d'un sujet, l'élève, qui ne doit rien en échange. *"Tout prévoir sans avoir tout prévu, tout organiser en laissant la place à l'imprévisible."*

... qui laisse une place à la créativité des acteurs

Chacun investit plus particulièrement certaines des activités prévues, et ce sont ces activités qui lui paraissent jouer un rôle moteur décisif pour l'apprentissage dans la dynamique de sa classe. Ceci indique les limites dans lesquelles une recherche didactique doit probablement se situer : plutôt que de proposer des protocoles à appliquer, elle a intérêt à proposer des possibles dont chaque enseignant pourra se saisir en les adaptant à sa convenance.

3. MISE EN JEU DES IDÉES DES ÉLÈVES ET PRISE DE RISQUE

registre cognitif
et registre affectif
sont liés

Le travail des obstacles conceptuels modifie la coutume de la classe (Balacheff, 1988) et vise à instaurer un "*nouveau métier d'élève*" (Perrenoud, 1994) avec en particulier la transformation de la classe en un lieu collectif d'apprentissage et une plus grande implication personnelle des élèves. Il demande que les élèves acceptent de mettre en jeu leurs idées personnelles et donc de s'exposer. Cela représente une prise de risque qui peut donner lieu à diverses réactions de refus ou de contournement de l'apprentissage, et parfois des réactions émotionnelles fortes.

mise en
évidence de
l'écart entre
idées des élèves
et projet de
l'enseignant

Chez les enseignants aussi, encourager l'expression de la pensée des élèves, même si c'est vécu comme nécessaire, peut engendrer un désarroi dans la mesure où cela fait apparaître clairement le décalage entre les différentes idées qui sont réellement disponibles pour les élèves, dans leur diversité généralement masquée par le niveau de l'élève moyen visible habituellement, et l'écart entre les représentations des élèves et le savoir à construire.

de l'erreur
comme faute...

Surtout, prendre appui sur les représentations et modes de pensée des élèves, c'est mettre à jour des erreurs et même, dans le cas du travail sur les obstacles, leur donner une place centrale dans les activités de classe. Mais il s'agit de rompre avec le statut de l'erreur comme idée fautive à rectifier, ou même comme faute entraînant un sentiment de culpabilité au-delà de la tâche cognitive délimitée. L'erreur prend le statut d'une information utilisable pour faire progresser la pensée dans un processus d'apprentissage, souvent interprétable comme l'indice d'un progrès à un moment antérieur. Cette modification de statut n'est pas anodine, elle demande une modification de la relation au savoir (Favre, 1995). Or cela entre en conflit avec l'image du métier d'enseignant qui fonde l'expertise professionnelle sur la maîtrise et la transmission de connaissances scientifiques exactes : un bon enseignant peut-il accepter de laisser s'exprimer des erreurs, peut-il suspendre le moment où seront construites des connaissances acceptables sur le plan scientifique, et prendre le risque de ne pas y parvenir et de rester englué dans l'obstacle ?

... à l'erreur
comme
information :

deux conceptions
de l'apprentissage
scientifique

Les deux cas suivants rapportent des épisodes vécus comme des conflits par les enseignantes qui, face à des réactions d'élèves déstabilisantes, se sont senties en difficulté par rapport à leur option constructiviste, et qui ont réussi finalement à dénouer la situation.

- **Enseignante D : Désarroi dans une phase de confrontation**

Comme dans le scénario mis en œuvre par les trois enseignants précédents, l'enseignement porte sur la nutrition végétale en classe de Sixième, mais les choix d'objectifs-obs-

croissance spontanée propre au vivant...	<p>tacles sont différents. L'objectif de l'enseignante est ici de faire comprendre aux élèves que la croissance implique une augmentation de masse, qui nécessite des entrées, et que ces entrées, cette matière extérieure utilisée, se transforment pour former la matière dont est constituée la plante. Plusieurs idées partagées généralement par les élèves de cet âge font obstacle à cette construction : une conception vitaliste qui envisage la croissance comme un phénomène naturel propre aux êtres vivants, qui n'a pas besoin d'être expliqué ; un modèle spontané de la matière comme des éléments qui se combinent par juxtaposition sans transformation, les entrées venant s'ajouter à la matière de la plante ; une conception selon laquelle la matière vivante est radicalement différente de la matière non vivante (Goix, 1997).</p>
... ou apports de matière et transformation	<p>Un travail est engagé sur plusieurs séances, qui comporte des expériences sur les besoins nutritifs des plantes, des activités de pesage des plantes puis de pâte à modeler, proches des situations piagétienne destinées à consolider l'acquisition de lois de conservation de la matière et à comprendre qu'elles s'appliquent également aux plantes. Il est ensuite demandé aux élèves de représenter une plante en croissance en utilisant au choix pâte à modeler, boules de cotillon ou éléments de <i>Légo</i>. On peut repérer trois types de modèles : l'eau et des sels minéraux sont représentés par des couleurs différentes de la plante et restent à l'extérieur de la plante ; des éléments "plante" et des éléments "eau" et "sels minéraux" sont intercalés ; la plante est représentée par un mélange de couleurs. L'épisode critique intervient dans la phase de présentation à la classe des modèles de chaque groupe. Le professeur s'attend à ce que les contradictions entre les différents modèles soient relevées et donnent lieu à un débat entre élèves. Or chaque groupe présente son modèle sans tenir compte des autres, aucune comparaison ou contestation ne s'exprime, la discussion ne s'installe pas. Les élèves semblent attendre du professeur qu'il tranche, qu'il donne son verdict et approuve ou désapprouve les modèles présentés. L'enseignante perçoit que certains élèves se sentent "désarçonnés", "coupables", "diminués". Elle-même est "désarmée" : "je ne savais pas quoi répondre, je ne voulais pas dire : c'est faux, c'est vrai". Elle ne dit donc rien, et la séance se termine sur un sentiment d'insatisfaction partagé.</p>
représenter une plante en croissance	<p>Cet épisode est intéressant car c'est un moment où la coutume didactique qui encourage les élèves à penser par eux-mêmes est mise en danger. Il serait facile de glisser dans la coutume à laquelle les élèves sont habitués par leur expérience scolaire, de rectifier les idées fausses et d'apporter la connaissance. L'enseignante D ne le fait pas et justifie son choix par rapport à ses options constructivistes. Donner une bonne réponse casserait la dynamique qu'elle a instaurée jusqu'ici. Le risque est que les élèves dont les réponses seraient jugées fausses se sentent disqualifiés et renoncent à mettre en jeu leurs idées, recréant le cloisonnement qu'elle</p>
pas de contestation, les élèves restent muets...	
... et attendent la "bonne réponse"	
fuite de l'activité cognitive ?	

a justement voulu casser entre leurs idées, gardées inchangées dans le domaine privé, et les connaissances exactes mais réservées au domaine scolaire. Le travail des obstacles serait ainsi évité, la tâche des élèves se limiterait à tenter de deviner la bonne réponse, connue de l'enseignant. Cette enseignante est particulièrement attentive au risque de retomber dans le schéma transmissif habituel. Elle y revient à plusieurs reprises dans l'entretien. Elle explique ainsi qu'elle a constaté lors d'essais antérieurs que la tâche de produire des schémas, lorsqu'elle intervient avant que la dynamique soit bien installée, est vécue comme une demande traditionnelle qui tend à ramener les élèves dans un rôle passif. Le choix d'un matériel inhabituel a justement pour fonction d'éviter ce risque.

refuser
de répondre est
difficile à assumer

Cependant D rapporte qu'elle se sent très déstabilisée, elle a l'impression de faillir à son rôle de transmission de connaissances, sur lequel elle a construit son image de la compétence d'enseignement. Le schéma habituel (question, réponse, correction de la réponse) reste une référence qui entre ici en conflit avec le nouveau rôle qu'elle s'est fixé. Laisser une question sans réponse, terminer une leçon sans faire en sorte qu'elle se conclue sur une connaissance nouvelle, énoncée et écrite dans le classeur des élèves, va à l'encontre du modèle habituel de la bonne leçon, et c'est difficile à assumer.

insérer
la contestation
dans une tâche
de coopération...

La réponse qu'elle apporte à cet épisode critique lors de la séance suivante lui permet de retourner la situation et de renforcer en définitive la mobilisation cognitive des élèves. Elle consiste à demander à la classe d'élaborer ensemble un nouveau modèle qui soit pertinent pour rendre compte de la croissance, en sélectionnant des éléments des modèles de chaque groupe (4). La nouvelle activité diffère de la précédente (exposés et discussion) sur quatre points.

... fait rebondir
la mobilisation
cognitive
des élèves

- La tâche assigne à la discussion un but collectif (la coopération pour produire un modèle unique) et une procédure (la sélection d'éléments pertinents dans les productions précédentes).

- L'enseignante dans cette situation intervient sur la procédure et non sur le fond, et demande que la sélection soit opérée en tenant compte de deux critères élaborés par la classe dans une phase précédente : pour qu'on puisse parler de croissance, il faut qu'il y ait une augmentation de masse et des entrées.

- Elle encourage l'explicitation de chaque point de vue et la compréhension mutuelle.

- Elle valorise toutes les contributions.

Le jugement porté par D sur la séquence est globalement positif. La discussion est cette fois très productive. Les modèles des petits groupes deviennent un fonds commun de

(4) La séquence analysée dans l'article déjà cité (Goix, 1997) est postérieure à celle-ci. Tirant les enseignements de cet essai, elle comprend deux phases de débat et va plus loin dans le même sens.

critique des idées
sans critique
des personnes

un niveau
de formulation
du savoir
scientifique
négocié

ressource, ils sont examinés sereinement sans que les individus qui les ont produits ne se sentent jugés et mis hors jeu, personne ne se sent "lésé". Le processus d'élaboration conceptuelle est pris en charge par les élèves, la dynamique est maintenue et même renforcée car elle sent que les élèves sont très contents et désireux de participer.

Enfin, elle assure son rôle d'expert qui garantit que la construction est acceptable sur le plan scientifique, de deux façons : en demandant tout au long de la discussion le respect des deux critères définis et la cohérence de l'argumentation, et en validant par son acceptation la construction finale. Au terme de la séance, la classe a construit une explication satisfaisante de l'augmentation de la masse de la plante au cours de la croissance. Le niveau de conceptualisation atteint, bien que variable selon les élèves, représente un progrès par rapport aux objectifs-obstacles choisis.

Un nouveau problème apparaît alors : la réponse élaborée par la classe est négociée en fonction de ce que les élèves sont capables de construire à ce moment-là, c'est un niveau de formulation à la fois acceptable pour eux et acceptable d'un point de vue scientifique et qui constitue un progrès pour les élèves. Mais ce n'est pas la formulation la plus canonique que l'on pourrait proposer dans un modèle transmissif. L'enseignante exprime une certaine insécurité à ce sujet, tout en étant convaincue de la plus grande efficacité pour les élèves de cette démarche. L'appartenance au groupe de recherche joue fortement pour lui permettre de maintenir une bonne image de sa compétence professionnelle, sur des critères différents de ceux communément partagés par ses collègues et dont elle-même trouve parfois difficile de se distancier.

• **Enseignante E : Agressivité dans une phase de retour sur les représentations de départ**

croissance =
augmentation
de masse =
apports nutritifs

Les obstacles visés avec la classe de E sont voisins de ceux de la classe de D : pour certains élèves la "terre nourricière" est conçue comme un tout indifférencié (dans ce cas, il n'y a même pas l'idée de la nécessité d'apport nutritif pour la croissance de la plante), pour d'autres les éléments nutritifs ne peuvent que venir de la terre, ils se juxtaposent à la matière plante pour la compléter par addition, sans transformation. L'objectif est cependant moins ambitieux, adapté au niveau très faible des élèves de cette classe de Sixième. Il s'agit de construire l'idée que la croissance correspond à une augmentation de masse, qu'elle nécessite l'apport d'éléments nutritifs, mais on ne cherche pas à déstabiliser l'idée d'addition juxtaposée de matière, ni à expliquer le processus en termes de transformation, ce niveau d'explication sera abordé en classe de Cinquième (Szterenbarg, Vérin, 1997).

À la suite d'un travail impliquant la formulation d'hypothèses, la conception et la réalisation d'expériences pour répondre à la question "une plante peut-elle pousser sans terre ?", la classe aboutit à une conclusion provisoirement

- satisfaisante : une plante a besoin d'eau, de sels minéraux, de lumière, mais on peut remplacer la terre. Le rôle du dioxyde de carbone sera introduit ultérieurement.
- C'est ici qu'intervient l'épisode critique : avant de passer à l'étape suivante, l'enseignante demande aux élèves de reprendre leurs premiers écrits et d'examiner les explications qu'ils donnaient au départ. En majorité ils avaient exprimé l'idée que la terre était indispensable à la croissance des plantes. Des réactions vives sont exprimées : *"Voilà, vous êtes contente, on s'était bien plantés."* Les élèves s'étaient fortement investis dans la construction nouvelle et y étaient attachés. E ressent ce moment comme très violent. Les élèves, en somme, lui reprochent de les avoir engagés à risquer leur pensée pour ensuite les ramener à leur condition de mauvais élèves qui se trompent et qui sont nuls. Son intention était au contraire de leur faire prendre conscience du chemin parcouru, et de consolider par là la nouvelle acquisition. C'est ce qu'elle explique aux élèves, mais cela lui paraît insuffisant. Il y a tout un travail de *"réparation"* à faire, dit-elle, pour que le conflit ne soit pas destructeur pour ces enfants qui sont à vif.
- À la séance suivante, E leur propose dans ce but de travailler par groupes sur un tableau photocopié qui reprend les formulations des élèves, de façon anonyme, et de dire ce que chacune permet d'expliquer et empêche de comprendre.
- Cette procédure matérialise, par la forme des documents et par les consignes proposées, plusieurs principes qui guident le travail de cette enseignante et sont à la base de la coutume didactique instaurée dans la classe :
- dépersonnaliser l'erreur : ce n'est pas l'erreur d'une personne, mais une idée que l'on prend comme objet de travail et à partir de laquelle on peut argumenter ;
 - montrer que les erreurs sont partagées : ce n'est pas moi, untel, qui suis en échec parce que je suis nul, mais c'est une idée fréquente ;
 - valoriser les idées des élèves en démêlant la fonction explicative et la fonction obstacle de chacune : on ne pense pas n'importe comment, si on a ces idées, c'est parce qu'elles servent à comprendre ; l'apprentissage consiste à acquérir des idées qui permettent de comprendre plus de choses.
- E rapporte que c'est finalement cet examen des idées de départ au regard des idées nouvelles qui a permis à certains élèves de franchir le pas de l'appropriation de la nouvelle construction. Et surtout elle juge qu'un déclic s'est produit, les élèves ont compris quelque chose de nouveau sur ce qu'est l'apprentissage. En définitive, la déstabilisation, vécue douloureusement dans un premier temps, a permis un positionnement plus actif dans la démarche d'appropriation des connaissances scientifiques.
- Ce type de travail s'insère dans la continuité de l'enseignement habituel de cette enseignante. Sa conception de l'enseignement donne une place centrale aux élèves. Un des thèmes récurrents dans l'entretien est le respect des élèves,
- pour les élèves :
rencontrer
leur erreur
- pour
l'enseignant :
mesurer
les progrès
accomplis
- on ne pense
pas n'importe
comment
- les idées
sont explicatives
avant de devenir
des obstacles
- un déclic dans
la conception
de l'apprentissage

respect
des élèves
et exigence
scientifique

et le climat de confiance qu'elle cherche à créer. La particularité des séquences centrées sur des objectifs-obstacles qu'elle a menées dans le cadre de la recherche tient surtout au fait qu'elle a imposé une réflexion dans le registre des modèles. Les élèves ont tendance à raisonner dans le registre morphologique et elle garde l'impression d'avoir dû "ramer", lutter en quelque sorte pour les entraîner dans une démarche plus exigeante. Elle y est parvenue, les élèves ont joué le jeu. Et c'est pourquoi elle se sent d'autant plus atteinte par l'accusation de les avoir pris au piège, c'est-à-dire d'avoir trahi leur confiance. La résolution réussie de l'épisode est rapportée comme une grande satisfaction professionnelle, un pas franchi vers plus d'autonomie de pensée.

• *Le poids de la coutume scolaire*

l'activité
cognitive
est coûteuse
pour les élèves...

Ces deux épisodes mettent en relief un phénomène auquel les enseignants disent souvent être confrontés, quoique de façon moins vive qu'ici : la prégnance du jeu scolaire habituel, qui, même quand les règles en sont modifiées dans une classe, pèse nécessairement en arrière-plan et crée à certains moments un conflit avec la coutume didactique instaurée. L'installation de cette nouvelle coutume peut rencontrer la résistance des élèves. C'est qu'une attitude passive est moins coûteuse et plus confortable à certains égards. Les exigences de ce nouveau métier d'élève sont fortes, comme le souligne Perrenoud : une plus grande implication personnelle, une obligation à s'exposer, une réduction de la distance entre la personne et son rôle. Les élèves dans ces conditions peuvent se montrer très productifs, capables de fonctionner à un haut régime intellectuel, et prendre plaisir à ce travail ("*c'est la première fois qu'on me demande mon avis*", disait une élève). C'est un thème qui revient dans beaucoup d'entretiens et cette forte participation est vécue de façon très positive.

... à la fois
satisfaisante...

Mais quand les élèves acceptent de s'exposer, ils ont tendance à vivre la déstabilisation cognitive sur un mode affectif, et deviennent plus vulnérables. C'est à cette préoccupation que répondent les dispositifs mis en œuvre par ces deux professeurs D et E : la vulnérabilité sera moins grande si on dissocie l'idée de la personne, si on dépersonnalise les idées par différents moyens qui permettent de prendre du recul. L'examen critique de l'idée ne mettra pas alors en cause la personne qui l'a émise.

... et risquée
pour les élèves
et l'enseignant...

Il faut encore que les élèves soient sûrs que le professeur ne va pas modifier à nouveau la coutume didactique. Les glissements d'une coutume à l'autre peuvent s'opérer subrepticement, simplement en donnant la bonne réponse, comme cela aurait pu se faire dans le cas de D, ce qui disqualifie les essais que les élèves ont risqués en toute confiance ; ou plus brutalement par une évaluation, même rétrospective, comme le craignaient les élèves de E. Il faut du temps pour que la sécurité s'installe, surtout si l'enseignant est isolé

un jugement
prématuré n'est-il
pas toujours
à craindre ?

dans son mode de fonctionnement. C'est encore souvent le cas, d'après les entretiens. Le contexte de l'établissement scolaire pèse d'un poids déterminant.

il faut bien s'assurer
que l'explication
est valide
scientifiquement...

Il y a là une difficulté importante : des idées d'élèves contradictoires peuvent rester juxtaposées, la contradiction n'est pas dans ce cas productrice de progrès. Si le professeur tranche et choisit, cela casse la dynamique ; s'il crée les conditions pour que les idées interagissent, qu'il y ait argumentation et consensus pour une solution négociée entre les élèves, c'est une réussite pour la dynamique mais cela ne suffit pas sur le plan scientifique. Il faut encore qu'à un moment donné le professeur, directement ou par la médiation d'outils, comme ici les critères, s'assure que la construction est acceptable sur le plan scientifique. Le choix de ce moment, ni trop tôt pour ne pas se substituer aux élèves, ni trop tard pour ne pas les laisser désorientés, est une difficulté que rencontrent les enseignants, plusieurs entretiens le soulignent.

... mais sans
disqualifier
l'activité
cognitive
des élèves

4. NOEUDS DE TENSION DANS LA GESTION DE LA CLASSE

Le travail sur les obstacles est une entreprise risquée. Pour les élèves bien sûr, puisqu'ils sont conduits à renoncer à un système de représentations qui fonctionnait malgré ses insuffisances pour passer à un autre système de représentations. Mais aussi pour les enseignants, qui sont amenés à reconsidérer leur manière habituelle d'enseigner et vivent d'une certaine façon eux aussi une déstabilisation. Même si le mode d'enseignement piloté par des objectifs-obstacles s'inscrit pour les enseignants considérés dans la continuité de leur enseignement habituel et de leurs conceptions constructivistes, la conduite de dispositifs complexes et la centration sur le travail didactique des obstacles les confrontent à des difficultés nouvelles face auxquelles les schèmes d'action disponibles ne sont pas toujours efficaces. Les processus d'apprentissage peuvent apparaître déconcertants. Les cinq cas que nous venons de présenter montrent certains nœuds de tension que les enseignants vivent dans la gestion de la classe. Nous nous proposons maintenant d'en dresser un panorama plus systématique à partir de ce qu'en disent les enseignants dans l'ensemble des entretiens. Une meilleure connaissance de ces tensions et de la façon dont elles sont négociées peut contribuer à éclairer la question de la faisabilité scolaire de l'idée d'objectif-obstacle, et, au-delà, d'un enseignement constructiviste.

des nœuds
de tension...

... exprimés
dans l'ensemble
des entretiens

**• Tension entre la logique de déstabilisation
cognitive et la logique d'élaboration
d'une nouvelle connaissance :
laisser exister des phases de déconstruction**

deux craintes :

La nécessité de phases de déconstruction est admise théoriquement par tous les enseignants, comme la condition pour que la pensée des élèves ne soit pas court-circuitée. Mais la tolérance à les laisser exister est variable, elles sont conçues comme très cadrées ou plus ouvertes selon les cas. Deux craintes sont exprimées.

méprise
sur le statut
des propositions

En premier lieu, laisser s'exprimer des idées fausses fait courir le risque de donner aux élèves l'impression qu'on les cautionne. Les erreurs pourraient alors être renforcées, le fait de les écrire pourrait leur donner un poids supplémentaire. Les enseignants insistent sur l'importance d'établir clairement aux yeux des élèves les règles du jeu selon les moments et le statut des différentes propositions. Des précautions doivent être prises, telles que des couleurs différentes ou des supports différents d'écriture pour les idées exprimées en cours de recherche et les connaissances structurées établies.

abandon
intellectuel

En deuxième lieu, si on laisse durer ces phases, ne risque-t-on pas de voir les élèves s'y enliser ? Laisser les élèves désorientés est de toute façon difficile à supporter. Jusqu'à quel point peut-on suspendre l'avis sur la validité scientifique des constructions ? Il s'agit de laisser assez de temps pour que les idées des élèves soient ébranlées et qu'un besoin de recherche de solutions plus satisfaisantes se fasse jour, sans pour autant arriver à un découragement, qui conduirait à un abandon du travail intellectuel chez les élèves. C'est une vraie difficulté, l'enseignant doit prendre sa décision dans l'instant, sans qu'aucune règle ne puisse garantir qu'il ne s'est pas trompé. Même l'enseignante qui exprime le plus vigoureusement sa confiance dans le bénéfice de ces phases pour la dynamique intellectuelle, ayant observé que la reconstruction est d'autant plus rapide et pleinement appropriée que les élèves ont d'abord "pataugé", rapporte son incertitude dans le vif de l'action. Le dosage est affaire d'estimation, on ne peut savoir si on a bien fait qu'après coup.

deux réponses :
règles du jeu
claires, projet
d'enseignement
précis et ouvert

La certitude qu'on a d'arriver à construire un nouveau système explicatif joue un rôle important pour s'autoriser à instaurer des phases de ce genre. Elle s'acquiert grâce à une définition précise du projet d'enseignement, à laquelle les analyses conduites dans la recherche ont contribué, et l'expérience de réussites antérieures.

• **Tension entre dévolution du problème et projet de travail des obstacles : mettre les élèves au cœur du dispositif et tenir le cap conceptuel**

élèves actifs,
enseignant
passif ?

Pour deux enseignants, le projet de valorisation des idées des élèves entraînait nécessairement leur effacement. S'obligeant alors à une attitude de laisser-faire, ces enseignants se sont montrés très insatisfaits : l'apprentissage était contourné, jusqu'à ce qu'ils reprennent en main la situation. L'accent mis sur l'activité cognitive des élèves ne pouvait se concevoir pour eux qu'en mettant entre parenthèses le projet pédagogique. Ces deux cas illustrent la difficulté réelle à tenir ensemble ces deux termes en tension, qui transparait, même si c'est de façon moins aiguë, à travers un bon nombre d'entretiens.

une négociation
médiatisée
par des activités

La recherche a argumenté théoriquement l'intérêt de dispositifs qualifiés de "souples-durs", souples pour que ce que disent et font les élèves infléchisse la suite des activités, ce qui est une condition pour la dévolution du problème et la mise en jeu de leurs idées, durs pour que les activités les fassent travailler sur l'obstacle et conduisent à un progrès intellectuel. De fait, certains enseignants ont maintenu fermement le cap en canalisant plus étroitement l'expression des élèves à travers une suite d'activités pré-construites. Dans ce cas, ils expriment peu d'incertitudes, mais la part de mise en jeu des idées des élèves est plus limitée. D'autres ont défini au fur et à mesure les activités en réponse aux obstacles qui se manifestaient. L'inconfort de ne pas pouvoir tout préparer à l'avance et d'avoir constamment des décisions à prendre sur le vif est alors exprimé.

entre les idées
des élèves
et le projet
d'apprentissage
scientifique

Dans tous les cas, et par définition, l'obstacle résiste. Même si c'est justement cette résistance qui fait prendre conscience de l'utilité de séquences centrées sur des objectifs-obstacles, les enseignants ont parfois l'impression d'avoir à lutter contre la tendance de certains élèves à refuser le problème en mettant hors jeu leurs idées avec de multiples stratégies de contournement, ou encore de se contenter de descriptions phénoménographiques (Martinand, 1992) en évitant la recherche d'explications. Le maintien d'exigences fortes demande beaucoup d'énergie de la part de l'enseignant.

• **Tension entre savoir universitaire et savoir accessible aux élèves : l'impossible renoncement**

des niveaux
de formulation
des savoirs
en apparence
moins élaborés...

Négocier la construction du savoir en fonction de ce que les élèves sont capables de construire mène à des niveaux de formulation qui sont loin du savoir établi. Les enseignants expriment parfois un certain malaise, qu'ils attribuent au regard imaginé des collègues extérieurs à la recherche. Mais ils sont eux-mêmes ambivalents à cet égard. On peut percevoir dans certains entretiens leur difficulté à renoncer à des savoirs plus élaborés : alors même qu'ils disent avoir

éprouvé la fugacité des acquis quand ils ne sont pas véritablement appropriés par les élèves, ils appliquent à leur enseignement le même niveau d'exigence formelle que lorsque l'enseignement est transmissif. Partagés entre enthousiasme et inquiétude, ils ont alors tendance à juger négativement les résultats obtenus dans leur classe, même si à d'autres moments ils se montrent très satisfaits du régime intellectuel élevé établi dans leur classe, des réorganisations cognitives obtenues.

... mais
plus intégrés

L'exigence conceptuelle forte, qui constitue un des traits du projet d'enseignement, demande la construction de connaissances structurées, qui répondent à des problèmes, qui obligent à des mises en relation. Les formulations construites peuvent en effet paraître moins élaborées que celles qu'on obtient dans un contexte d'enseignement plus factuel, où on ne se donne pas les moyens didactiques d'assurer la compréhension du cadre théorique et les mises en relation qui restent à la charge de l'élève (où le langage joue comme système d'étiquetage plutôt que comme système interprétatif, Sutton, 1992).

• **Tension entre le court terme et le long terme :
linéarité et rapidité**

des progrès
intellectuels
obtenus dans
le court terme

En référence à un modèle constructiviste, l'aspect progressif et spiralaire des apprentissages est souvent noté par les enseignants. Dans le jugement porté sur les acquis des élèves cependant, une conception plus linéaire de l'apprentissage est reprise. Ainsi une enseignante interprète des réponses en régression par rapport aux réponses précédentes comme un indicateur que les élèves sont engagés dans un vrai travail de réorganisation de leur pensée et non pas dans l'acceptation passive de connaissances non intégrées. Elle s'en montre satisfaite, reprenant à son compte l'analyse du groupe de recherche. Mais à un autre moment de l'entretien elle manifeste au contraire une certaine déception. C'est la conception de l'apprentissage comme un processus cumulatif linéaire qui prend le dessus. Même si elle s'attend théoriquement à ce que l'obstacle resurgisse dans une nouvelle situation, la déception quand elle s'y trouve confrontée la conduit à réviser à la baisse l'ambition du projet.

une fragilité mise
en évidence
par les analyses

Il faut ici préciser que l'analyse fine des productions des élèves conduite dans le cadre de la recherche met en évidence les limites et les fragilités des acquisitions, généralement masquées, les enseignants en ont conscience, sous le niveau moyen de la classe.

des reprises
seront nécessaires

Le court terme est nécessairement décevant si c'est bien un obstacle-clé que l'on travaille, il est difficile d'évaluer le dépassement local de l'obstacle et de faire la part du global qui ne pourra être ébranlé que par des reprises dans des contextes multiples. Il faut se rassurer par le fait qu'un progrès significatif a été réalisé, mais ne pas être dupe : il faut

dra recommencer. D'où la coexistence des deux sentiments de réussite et de doute.

• **Les contraintes de temps**

Le thème du manque de temps revient souvent dans les entretiens, plus particulièrement d'ailleurs au collège et au lycée, où les demandes institutionnelles par rapport au programme pèsent de façon importante. Les enseignants se sentent tiraillés entre le désir de prendre le temps nécessaire pour que les élèves approfondissent leur compréhension et la nécessité de traiter tous les chapitres au programme. C'est surtout vrai pour les enseignants qui ont mis en œuvre des dispositifs s'étendant sur plusieurs séances. Même s'ils sont jugés intrinsèquement intéressants d'après leurs résultats en termes d'apprentissage, leur durée oblige à des remaniements du reste de l'enseignement, ce qui pose parfois des problèmes aux enseignants. Pour cette raison même, leur reprise hors du cadre de la recherche ne paraît pas possible.

Nous pouvons faire ici deux remarques. La première, c'est qu'effectivement les enseignants ont un contrat social à respecter, ils doivent s'assurer que les élèves acquièrent des connaissances sur l'ensemble des contenus définis à un niveau de classe donné, de façon à ce qu'ils soient en mesure de poursuivre leur scolarité de façon satisfaisante ; et cela dans un cadre horaire limité, qui oblige à opérer des sélections. La deuxième, c'est que les enseignants considérés ont tendance à ne concevoir qu'une seule modalité d'enseignement applicable de façon uniforme à toutes les parties du programme. Pour que le mode d'activité didactique piloté par les obstacles soit faisable dans des conditions scolaires ordinaires, il est certainement nécessaire que les séquences de ce type ne soient pas trop longues. Mais il est aussi nécessaire qu'il s'articule avec d'autres modes d'activité didactique pilotés par la démarche ou le savoir par exemple. C'est ce qui peut permettre de moduler le type d'intervention de l'enseignant, qui peut être plus transmissif à certains moments, et le temps consacré aux différents objectifs de l'enseignement.

On prend la mesure, à travers l'exposé de ces difficultés rencontrées par les enseignants, des remises en cause et des réajustements que le travail centré sur des objectifs-obstacles engage. En contrepoint, des réussites dans les apprentissages sont très généralement soulignées, ainsi qu'un fort investissement des élèves, quand les résistances sont dépassées. Cette modalité d'enseignement laisse sa chance à chacun, personne n'est mis hors jeu parce qu'il n'a pas donné la bonne réponse. Les capacités de raisonnement étonnent, les connaissances engagent un remaniement des idées premières des élèves. Le plaisir de pouvoir aider ce processus est exprimé.

le temps
de traiter toutes
les parties
du programme

un traitement
uniforme ou
une diversification
des temps
et des modes
d'activité ?

tonalité générale
de satisfaction

De nouveaux repères, de nouvelles modalités d'intervention sont construites par les enseignants, l'expertise s'en trouve renforcée.

5. LES EFFETS DE FORMATION PAR LA RECHERCHE : DE NOUVELLES COMPÉTENCES PROFESSIONNELLES

Tout au long des quatre ans de la recherche, les enseignants ont été étroitement associés aux analyses des contenus à enseigner aux différents niveaux de classe et des obstacles dans le champ conceptuel de la transformation de la matière. Ils ont construit et expérimenté des séquences dans leurs classes, à partir d'un cadre théorique de départ et d'une réflexion commune sur la nature des obstacles et les stratégies possibles pour leur dépassement. L'analyse du déroulement des séquences, des échanges oraux et des productions des élèves a permis une meilleure compréhension des processus en jeu dans les diverses conditions d'apprentissage mises en place. Elle a conduit à un remaniement et une précision du cadre théorique commun.

une association
étroite à toutes
les phases
de la recherche

Tous les enseignants soulignent les effets de formation de leur participation à la recherche. À travers ce qu'ils en disent, on peut voir les éléments de la recherche et de son cadre théorique qui sont généralement partagés, et ceux qui le sont moins.

• Des outils de pilotage

La participation à l'analyse des savoirs à enseigner dans le groupe de recherche est un des moteurs de formation unanimement apprécié par les enseignants. Elle leur a permis de construire une vue plus unifiée et plus conceptualisée des connaissances à enseigner. Pour les enseignants de biologie, la réflexion sur les modèles de la matière qui sous-tendent la compréhension des processus de transformation de la matière a permis de renouveler leur enseignement dans ce champ, les analyses conduites avec des professeurs de physique et chimie consolidant cette réflexion.

analyse
des savoirs
à enseigner

Les résultats de l'analyse des obstacles fournissent une grille de lecture permettant de mieux comprendre les élèves et de s'adapter à eux. La participation à la démarche d'analyse a permis d'apprendre à interpréter comment les élèves fonctionnent, de changer de regard. Au-delà du champ conceptuel travaillé, les enseignants disent rechercher maintenant ce qui explique les erreurs, les réseaux d'idées qui forment un obstacle à l'apprentissage.

analyse
des obstacles

Ces outils sont utilisés pour définir le projet d'enseignement et les objectifs-obstacles, ils aident aussi à mieux cadrer les

outils
de définition
du projet
d'enseignement
dans le champ
des transformations
de la matière

interventions sur les obstacles, à travers la prévision de scénarios conceptuels.

Ils apportent une sécurité, acquise progressivement, par rapport au rôle de spécialiste d'une discipline : sachant précisément où on veut arriver, il devient plus facile d'intervenir par moments indirectement, sur des méthodes de pensée, des outils, aider à raisonner plutôt que donner la connaissance.

• **Une meilleure connaissance
des processus d'apprentissage**

surprises dans
l'apprentissage

C'est par la mise en œuvre des dispositifs et par l'analyse des processus cognitifs à partir des données recueillies en situation que les enseignants ont véritablement éprouvé la résistance des obstacles. C'est ce qui a fait apparaître la nécessité de ne pas se limiter à la simple contradiction logique, insuffisante à elle seule face à cette résistance.

Des aspects du processus d'apprentissage qui les ont étonnés et parfois décontenancés au début sont maintenant mieux connus : ainsi les diverses stratégies d'évitement du conflit cognitif ; les régressions apparentes indiquant le déplacement du problème ou la réorganisation en cours. Cela ne suffit pas toujours, on l'a vu, à éviter des réactions de déception ou d'inquiétude par rapport à l'attente d'une réussite plus immédiate, mais les enseignants ont conscience de mieux comprendre les démarches intellectuelles des élèves et donc de mieux pouvoir apporter des réponses appropriées.

et réussites

Une des découvertes pour beaucoup d'enseignants – une confirmation pour certains – est la capacité de raisonnement et le fort degré d'investissement des élèves quand on prend au sérieux leurs idées et qu'on leur fournit des outils, un étayage : les enseignants disent avoir appris à se fixer des objectifs plus ambitieux intellectuellement.

• **Un répertoire d'activités**

un fonds
de ressources
qui permet d'être
plus flexible

La mise en scène sociale du travail conceptuel, avec des tâches différenciées et l'organisation des interactions entre élèves, déjà pratiquée par certains en début de recherche, est mise en œuvre et jugée importante par tous les enseignants au terme de la recherche.

Tous les enseignants affirment avoir enrichi leur répertoire de dispositifs, de tâches et de modalités de mise en scène. Très rares sont ceux qui reprennent les dispositifs expérimentaux tels quels après la recherche, mais ils s'inspirent d'éléments de leurs dispositifs et puisent aussi dans le fonds de ressources que constituent les autres dispositifs de la recherche pour les recombinaison selon les besoins. Cette disponibilité d'une gamme d'activités possibles leur donne une plus grande capacité d'improvisation. Ils ont aussi appris à mener certains types de séquences nouveaux pour eux, chacun s'étant approprié parmi tous les possibles expérimentés

dans la recherche ceux qui leur conviennent le mieux, comme on l'a vu sur quelques exemples.

• ***Une appropriation variable des propositions de la recherche pour le travail didactique des obstacles***

des choix
différents
dans le cadre
de la recherche

On a pu noter précédemment que le degré de tolérance à la déstabilisation cognitive chez les élèves est variable selon les enseignants, de même que le degré d'ouverture ou de cadrage des activités. Il en va là autant de caractéristiques personnelles que de facteurs de contexte, et cette diversité est nécessaire et argumentée comme telle dans le cadre de la recherche, qui prétend ouvrir des possibles et non proposer des normes. Il est intéressant ici de signaler deux propositions de la recherche qui ont rencontré une adhésion très inégalement partagée. C'est probablement l'indice qu'elles constituent une rupture dans les habitudes d'enseignement, même dans le contexte d'une conception constructiviste.

Tout le monde a joué le jeu d'élaborer et d'expérimenter des séquences dans lesquelles le traitement de l'obstacle occupe la place centrale. Tous disent que la prise de conscience de l'enjeu cognitif de travailler les obstacles, acquise à cette occasion, les conduit à une plus grande vigilance dans l'ensemble de l'enseignement : ils ont appris à écouter les élèves et à repérer les manifestations d'obstacles, ils sont mieux à même, disent-ils, de réagir dans l'instant, d'établir un dialogue et d'organiser une mise en question.

vigilance
permanente
à l'obstacle
ou/et séquences
pilotees
par des objectifs-
obstacles

Mais alors que certains reprennent après la fin de la recherche le principe de séquences spécifiques pilotées par le travail des obstacles, et expriment vigoureusement leur adhésion à cette modalité d'enseignement, une autre partie des enseignants retient avant tout l'intérêt d'avoir les obstacles à l'esprit pour mieux se "caler" sur les idées des élèves et "cadrer" le travail, dans l'ensemble de l'enseignement. Le principe de diversifier les modes d'activité didactique, la centration sur des objectifs-obstacles étant l'un de ces modes parmi d'autres, est une idée que ces enseignants n'ont pas adoptée.

prise
de conscience
rétrospective
des obstacles
et changement
de conception
de l'apprentissage

Les activités d'identification des obstacles, dont l'importance était postulée dès le début de la recherche, n'ont été mises en place que dans quelques-uns des dispositifs expérimentés au cours de la recherche, et parfois dans leurs dernières versions seulement. De telles activités misent sur l'intérêt d'une prise de conscience métacognitive du chemin parcouru pour construire une attitude de vigilance critique à l'égard d'obstacles dont on sait qu'ils persisteront d'une certaine façon par-delà les acquisitions contextualisées. Elles constituent un détour par rapport à l'élaboration conceptuelle. Seule une minorité d'enseignants y attache de l'importance. Mais c'est alors pour eux une phase décisive, c'est l'apport essentiel de la recherche que de leur avoir fait comprendre qu'en développant une prise de conscience rétros-

pective des obstacles travaillés, on donnait aux élèves des outils tout aussi puissants que les activités de structuration sur le versant de la construction.

comme
pour les élèves,
dans la recherche
l'appartenance
à un groupe
social...

... attelé
à une
construction
commune...

... favorise
le débat...

... et sert
de référence

un lieu
de construction
de connaissances
didactiques, lieu
de formation

J'aimerais conclure sur un thème qui occupe une place importante dans les propos tenus par les enseignants. Quand il existe dans les établissements, le travail en équipe est un soutien puissant, mais il existe trop peu. Le travail collectif a joué un rôle positif pour les enseignants. Échanges avec l'ensemble des participants à la recherche, analyses serrées dans des équipes plus locales, travail en binôme ou trinôme dans plusieurs cas, circulations de textes et lectures critiques plurielles ont donné la possibilité d'exprimer et de discuter ses choix, ses doutes, d'examiner de façon critique les modalités de travail envisagées, d'élaborer des projets de travail et des issues positives aux difficultés rencontrées. Cet aspect collectif n'est pas toujours gratifiant, il introduit des contraintes supplémentaires, par exemple par rapport à la gestion du temps qui doit suivre le rythme des analyses et des nécessaires observations, en s'adaptant aux disponibilités de chacun. Mais le projet de construction de savoirs didactiques porté collectivement autorise un regard qui peut être critique parce qu'il est en même temps positif. L'appartenance à une équipe de recherche crée aussi une référence pour des pratiques d'enseignement vécues comme atypiques dans le milieu habituel d'enseignement. La mise en œuvre de changements parfois déstabilisants est favorisée par le soutien d'un groupe. Si selon les enseignants, c'est une des conditions déterminantes dans les effets de formation qu'a eue la recherche pour eux, ne pourrait-on pas imaginer de développer des modalités de travail analogues dans les contextes de formation ? Des principes de fonctionnement de ce type sont à la base de certaines actions de formation continue, ils pourraient connaître une extension plus large, y compris dans la formation initiale. Créer un milieu social qui serve à la fois de référence, de point d'appui et de lieu de débat est d'autant plus important quand le projet de formation est en rupture avec les modalités d'enseignement scientifique les plus répandues, comme c'est généralement le cas actuellement, même si la situation est variable selon les contextes et susceptible d'évolution.

Anne VÉRIN
Unité de recherche en didactique
des sciences expérimentales, INRP
IUFM d'Amiens

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ASTOLFI, J.-P. (1993). "Trois paradigmes pour les recherches en didactique". *Revue française de pédagogie*, 103.
- ASTOLFI, J.-P., PETERFALVI, B. (1993). "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales". *Aster*, 16, 103-141.
- ASTOLFI, J.-P., PETERFALVI, B. (1997). "Stratégie de travail des obstacles : dispositifs et ressorts". *Aster*, 25, 193-216.
- ARCA, M., CARAVITA, S. (1993). "Le constructivisme ne résout pas tous les problèmes". *Aster*, 16, 77-101.
- BALACHEFF, N. (1988). "Le contrat et la coutume, deux registres des interactions didactiques". In *Actes du premier colloque franco-allemand de didactique des mathématiques et de l'informatique* (Lumigny). Grenoble : Université, IMAG.
- BEDNARZ, N., GARNIER, C., eds. (1989). *Construction des savoirs, obstacles et conflits*. Ottawa : CIRADE, Agence d'Arc.
- FAVRE, D. (1995). "Conception de l'erreur et rupture épistémologique". *Revue Française de Pédagogie*, 111.
- GILLY, M. (1988). "Le fonctionnement de l'enfant à l'école". *Journal Européen de psychologie de l'éducation*.
- GOIX, M. (1997). "Grandir, oui mais comment ?". *Aster*, 24, 141-170.
- JOHSUA, S. (1989). "Construction et gestion du sens par les élèves". In Colomb, J. (éd.). *Recherches en didactiques : contribution à la formation des maîtres*. Paris : INRP.
- MARTINAND, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- MARTINAND, J.-L. et al. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- MEIRIEU, Ph. (1995). *La pédagogie entre le dire et le faire*. Paris : ESF.
- MORAL, P., DELRUE, M. (1997). "La question de la faisabilité du travail didactique des obstacles vue par les enseignants". In Giordan, A., Martinand, J.-L. et Raichvarg, D. (éds.). *Actes JIES XIX*. Paris : DIRES-Université Paris 7.
- NOTT, M., WELLINGTON, J. (1995). "Critical incidents in the science classroom and the nature of science". *Studies in Science Education*, 76.
- NUSSBAUM, J., NOVICK, S. (1982). "Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation : toward a principled teaching strategy". *Instructional Science*, 11.

PERRENOUD, P. (1994). *Métier d'élève et sens du travail scolaire*. Paris : ESF.

PETERFALVI, B. (1995). "Activités réflexives d'élèves en classe de sciences : des compétences méthodologiques au travail sur les obstacles". In Giordan, A., Martinand, J.-L. et Raichvarg, D. (éds.). *Actes JIES XVII* (pp. 131-138). Paris : DIRES-Université Paris 7.

PETERFALVI, B., VÉRIN, A. (1996). "Risques, dérives, faisabilité du travail d'obstacles en didactique". *Tréma*, 9-10.

PLÉ, É. (1995). "Attaquer un obstacle par ses différentes faces : "l'air n'est pas de la matière" à l'école primaire". In Giordan, A., Martinand, J.-L. et Raichvarg, D., (éds.). *Actes JIES XVII* (pp. 469-474). Paris : DIRES- Université Paris 7.

POSNER, G. J. et al. (1982). "Accommodation of a scientific conception : towards a theory of conceptual change". *Science Education*, 66.

ROBARDET, G. (1994). "La formation des enseignants de sciences physiques et le mythe naturaliste". In *Actes du 4ème séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques*, Amiens.

SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1997). "Ce que le professeur prévoit,... ce qui se passe réellement". *Aster*, 25, 93-112.

SUTTON, C.R. (1992). *Words, Science and Learning*. Buckingham : Open University Press.

SZTERENBARG, M., VÉRIN, A. (1997). "Écrire pour penser en biologie dans une classe de sixième en zone sensible". *Le Français Aujourd'hui*, 120.

TOCHON, F.V. (1993). *L'enseignant expert*. Paris : Nathan.

VÉRIN, A. (1995). "Mettre par écrit ses idées en sciences pour les faire évoluer". *Repères*, 12.

L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉNERGIE AU COLLÈGE VU PAR LES ENSEIGNANTS. GRILLE D'ANALYSE DE LEURS CONCEPTIONS

Dimitris Koliopoulos
Konstantinos Ravanis

L'établissement de liens nécessaires entre l'enseignement scientifique et la didactique des sciences physiques nous conduit à étudier les conceptions des enseignants concernant différents aspects de l'enseignement des sciences physiques de manière qu'elles soient conscientes et utilisables, en même temps par l'enseignant et le chercheur. L'article présente une classification des programmes d'enseignement secondaire concernant l'énergie qui a été utilisée comme outil d'analyse et d'évaluation des conceptions des enseignants sur l'enseignement expérimental de l'énergie. Dans le cadre de cette nouvelle classification, nous distinguons trois types de programme : le "traditionnel" où le concept d'énergie est dispersé dans plusieurs unités thématiques possédant une autonomie conceptuelle dans chacune de ces unités ; l'"innovatif" où l'énergie constitue un élément organisateur du programme et le "constructiviste" qui prend en considération les représentations des élèves et les obstacles cognitifs à dépasser. Cette classification est appliquée à une étude des conceptions des enseignants scientifiques en formation qui planifient une série d'activités expérimentales concernant le concept d'énergie. Les résultats de notre étude nous conduisent à discuter l'intérêt de la classification comme moyen de communication entre l'enseignant scientifique et le chercheur en didactique des sciences physiques.

1. LA PROBLÉMATIQUE

ce n'est pas possible de fonder entièrement la formation professionnelle sur les seuls résultats de la recherche, alors...

Le cadre dans lequel se développe l'enseignement des sciences physiques est défini par le genre du curriculum, les contraintes matérielles imposées par les conditions réelles de travail, et par les conceptions des enseignants quant à leur travail, les sciences physiques et l'apprentissage. Une série de questions pourrait alors se poser : quelle est la séquence des unités didactiques qu'ils choisissent et pourquoi ? Comment les enseignants procèdent-ils à la fragmentation d'une plus grande unité en sections ? Quand tentent-ils de réaliser des activités expérimentales et comment les proposent-ils aux élèves ? Quelles sont les objectifs particuliers de ces activités expérimentales ?

Les réponses à toutes ces questions présupposent une série d'acceptations qui ne peuvent cependant être instaurées qu'en fonction d'un certain nombre de critères relatifs au

développement du programme. Ces critères peuvent être formulés empiriquement, en fonction d'estimations subjectives quant à ce qui est nécessaire, utile et efficace, ou être puisés dans le cadre épistémologique de la didactique des sciences physiques, ce qui nous amènerait à supposer qu'ils constituent des outils pour la formation des enseignants. Or même si ces critères sont puisés dans la didactique des sciences physiques, il n'est pas certain que leur utilisation puisse dépasser la distinction formation théorique/formation pratique, compte tenu du fait que nous rencontrons très souvent *"une illusion propre aux chercheurs... que de croire qu'en principe... il va être possible de fonder entièrement la formation professionnelle sur les seuls résultats de la recherche"* (Martinand, 1994).

... il paraît nécessaire d'établir des outils de communication entre recherche en didactique et pratique pédagogique

Il paraît alors nécessaire d'établir des outils de communication entre recherche et pratique pédagogique, c'est-à-dire de créer un schéma qui permettra la formation d'un champ de référence commun entre chercheurs et enseignants. Dans cet article, nous présentons une grille de lecture dans laquelle nous opérons une classification des curriculums concernant le concept d'énergie au niveau du collège, étant donné que ce concept joue un rôle primordial tant au niveau de l'enseignement des sciences physiques puisqu'il fait partie de la majorité des programmes d'enseignement, qu'au niveau de la recherche en didactique des sciences physiques, ce qui se traduit par un grand nombre d'études sur le sujet (Koliopoulos & Tiberghien, 1986; Duit & Haeussler, 1994). Nous supposons ainsi qu'une telle grille pourrait, en vue de l'élucidation des conditions de travail au collège concernant l'enseignement de l'énergie, permettre sans doute aux chercheurs d'apprécier la signification des matériels et des décisions des enseignants, la codification et l'analyse des pratiques pédagogiques et des activités didactiques; et aux enseignants de prendre conscience de la cohérence de leurs choix, de mieux mettre en valeur les matériels et les manuels scolaires, et engendrer la rationalisation des réorganisations possibles de leur travail. Dans cet article est présentée aussi, en tant que première tentative d'application de cette grille, l'élaboration des conceptions d'une équipe d'enseignants qui ont participé à un séminaire de formation.

2. LA CLASSIFICATION DES CURRICULUMS

un langage commun entre chercheur et enseignant : la classification des curriculums concernant le concept de l'énergie

La classification à laquelle nous nous référons, n'est autre qu'un regroupement de conclusions provenant de l'analyse du contenu de programmes d'enseignement précis, qui constituent des approches connues et valides d'une série de curriculums de divers pays. Le principal critère de choix de ces programmes est leur caractère d'introduction du concept d'énergie au niveau du collège. Cette classification

ne correspond à aucun curriculum précis, mais il représente une sorte de modèle qui met à disposition un ensemble de caractéristiques générales pouvant se manifester entièrement ou partiellement dans des programmes d'enseignement appliqués. Ces caractéristiques générales proviennent en partie de conceptions explicites ou implicites, qui ont été transformées au niveau de la recherche réalisée dans le cadre de la didactique des sciences physiques, alors qu'il est en même temps possible d'expliquer des caractéristiques de la structure, du contenu et des activités proposées par les programmes appliqués. C'est ce second fonctionnement "explicatif" de notre classification qui intéresse principalement les enseignants, mais aussi les didacticiens dont l'objet de recherche est la formation des enseignants.

La classification comporte trois catégories de curriculum : le curriculum "traditionnel", le curriculum "innovatif" et le curriculum "constructiviste". La nature et les caractéristiques de ces catégories seront décrites de façon analytique par la suite.

2.1. Le curriculum "traditionnel"

Nous allons utiliser en tant que représentants du curriculum "traditionnel" concernant l'énergie, le programme d'enseignement anglais *Physics for you* (Johnson, 1991) ainsi que celui de physique en vigueur au collège grec (Zenakos et al., 1994). L'intention explicite ou implicite du curriculum traditionnel est que les élèves comprennent les sujets qui touchent principalement, pour ne pas dire uniquement, au contenu des sciences physiques. La conséquence d'une telle intention est que le curriculum traditionnel envisage tous les concepts de sciences physiques de la même façon. Aucun principe, aucune loi ou concept n'a de caractère privilégié.

le curriculum "traditionnel" est principalement caractérisé par la dispersion thématique et conceptuelle du concept de l'énergie

Une des caractéristiques principales du curriculum traditionnel qui découle de l'intention précédente, est la dispersion du concept d'énergie à travers les différentes unités thématiques. La façon fortuite d'introduction et d'analyse des divers concepts physiques et, par conséquence, celui d'énergie, semble être due au fait que même les sujets du curriculum traditionnel sont introduits de façon fortuite, puisqu'il n'existe pas d'autre critère extérieur - objectif didactique - hormis la compréhension du contenu de la science. Une des conséquences majeures de la caractéristique du curriculum traditionnel mentionnée précédemment est que l'étude du concept d'énergie devrait être réalisé dans des cadres conceptuels différents, et que dans chacun le concept d'énergie obtienne un sens systémique et empirique différent, c'est-à-dire une *autonomie conceptuelle* relative (Baltas, 1990). D'après les unités thématiques des programmes grec et anglais, sont juxtaposés et/ou sont mélangés les cadres conceptuels de la mécanique, de la

calorimétrie, de la thermodynamique, de la mécanique statistique, de l'électricité etc. Il semble qu'au niveau du collège, aucun rapport n'existe entre les différents cadres conceptuels. Résultat : l'étude du concept d'énergie représente chaque fois une approche indépendante. En s'appuyant sur cette analyse, la conclusion à laquelle on pourrait aboutir est que la juxtaposition de nombreux cadres conceptuels qui touchent au concept d'énergie et/ou le mélange de tels cadres dans de petites unités thématiques, réduit le fonctionnement du concept puisque à chaque fois l'élève est "chargé" d'un sens différent du même concept, et c'est ainsi qu'augmente le risque de tomber dans des malentendus conceptuels.

il est caractérisé aussi par une définition de l'énergie en tant que concept dérivé de la mécanique...

Une autre caractéristique essentielle du curriculum traditionnel est que le concept d'énergie est introduit soit en tant que concept dérivé du travail (dans le cadre conceptuel de la mécanique, par exemple) soit en tant que fonction des grandeurs observables qui décrivent le champ mono-phénoménologique d'application du concept (comme par exemple les cadres conceptuels de la calorimétrie et de l'électricité). La principale critique adressée au contenu conceptuel du curriculum traditionnel concerne exactement la définition de l'énergie en tant que concept dérivé dans le cadre de la mécanique. Cette approche est considérée comme insuffisante et fautive selon des critères scientifiques, sociaux et psychologiques (Lehrman, 1973; Arons, 1990). De même, les résultats des recherches empiriques qui se réfèrent aux conceptions des élèves quant au concept d'énergie confirment ce que les enseignants des sciences physiques connaissent très bien, c'est-à-dire que l'approche énergétique des phénomènes mécaniques est difficilement compréhensible par la majorité des élèves (Solomon, 1992; Driver et al., 1994). De plus, l'introduction du concept d'énergie en tant que fonction de mesures physiques observables limite l'approche énergétique au niveau quantitatif, alors que nous savons qu'une sorte de rapprochement entre les conceptions qualitatives pré-énergétiques des élèves et la nature quantitative de l'énergie est nécessaire (Koliopoulos, 1997).

... et par la sélection fortuite du champ d'application des concepts physiques

Une troisième caractéristique du curriculum traditionnel est la sélection fortuite du champ d'application des concepts physiques, c'est-à-dire du champ des phénomènes qui fonctionnent en tant qu'applications du cadre conceptuel en question. Ceci semble être un résultat de plus de la dispersion des concepts physiques dans les diverses unités thématiques du curriculum, étant donné que tous les phénomènes physiques constituent un champ phénoménologique d'application potentiel pour le concept d'énergie.

2.2. Le curriculum "innovatif"

Depuis la fin des années 60, des programmes d'enseignement qui s'appuient sur des restructurations conceptuelles du contenu des sciences physiques sont apparus. Celles-ci

favorisent dans ces programmes la revalorisation du concept d'énergie. Le curriculum innovatif se fonde sur ces restructurations qui reconnaissent d'une part l'importance fondamentale du principe de conservation de l'énergie en sciences physiques, et, d'autre part, le caractère unificateur et inter-phénoménologique du concept d'énergie. En tant que représentants de cette tendance du programme innovatif, nous présenterons le programme américain "*Energy*" qui a été développé par Haber-Schaim (1983), ainsi qu'une de ses formes modifiée et développée en Israël par Shadmi et ses collaborateurs (Shadmi et al., 1978). Une deuxième tendance du programme innovatif apparaît à la fin des années 70, quand la crise du pétrole mobilise les systèmes éducatifs des pays industriellement développés, qui réagissent en élaborant des curriculums dans lesquels est accentuée non seulement l'importance primordiale du concept pour les sciences physiques, mais aussi son importance sociale, puisqu'elle est intimement liée à des problèmes comme celui de l'économie d'énergie. En tant que représentant de cette tendance du programme innovatif, nous présenterons le programme français "*Sciences Physiques, Libres Parcours*" (Agabra et al., 1979).

le curriculum "innovatif" est principalement caractérisé par la considération de l'énergie comme principe organisateur d'une large unité ou du programme

Dans le curriculum innovatif, nous passons donc de la dispersion du concept d'énergie en diverses unités thématiques, à une plus large unité conceptuelle ou même au fait de considérer l'énergie comme principe organisateur du curriculum en entier. Ainsi, le principal élément unificateur de la série d'unités qui apparaît dans les différents types du programme "*Energy*" est le concept de transformation des formes d'énergie de façon à ce que soit confirmé le principe fondamental de la conservation de l'énergie. Une semblable organisation conceptuelle du contenu est aussi observée dans le programme français où le concept de transfert d'énergie joue surtout le rôle unificateur principal dans l'étude des diverses activités.

soit les intentions scientifiques dominant...

Les intentions particulières et les objectifs du curriculum innovatif ont des conséquences non seulement sur la structure du programme, mais aussi sur son contenu conceptuel. Dans le cas de la tendance du curriculum innovatif où le rôle principal est joué par le contenu de la science, l'énergie est introduite en tant que concept premier alors qu'est souligné son caractère unificateur et inter-phénoménologique, qui est assuré à travers le principe de conservation de l'énergie. L'étude de la chaleur par exemple, en tant que fonction de la masse, de la chaleur spécifique et de la variation de température d'une quantité de liquide qui, dans le curriculum traditionnel, représentait un objet d'étude autonome, acquiert désormais du sens uniquement à travers le processus de transformation d'une autre forme d'énergie en chaleur (Shadmi et al., 1978). Dans le cas de la deuxième tendance du curriculum innovatif, où les intentions scientifiques et sociales constituent un ensemble plus équilibré d'objectifs didactiques, l'énergie est également présentée

soit elles s'équilibrent avec les intentions sociales

comme un concept premier alors qu'en même temps est choisi le cadre théorique de la thermodynamique en tant qu'unique cadre conceptuel de référence. Dans le programme d'enseignement en question, la forme que prend la transposition didactique du cadre conceptuel de la thermodynamique est celle de divers modèles de la chaîne énergétique. Dans le programme français, selon ce modèle, l'énergie est introduite en tant que mesure physique commune qui caractérise des types différents de réservoirs d'énergie, même si elle est présentée sous différentes formes. Parallèlement, une distinction claire est faite entre l'énergie qui décrit l'état d'un système et le transfert d'énergie qui dénote la "phénoménologie" de transfert d'énergie. De même, le principe de conservation de l'énergie est suivi du concept de dégradation d'énergie, imposé plutôt par l'approche technologique et les exigences sociales que par l'approche scientifique du concept.

le champ d'application du concept d'énergie est étendu à cause de la nature inter-phénoménologique du concept

Dans le curriculum innovatif le champ d'application du concept d'énergie est étendu, comme cela arrive d'ailleurs dans le programme traditionnel à cause de la nature inter-phénoménologique du concept. Dans le cas cependant du programme innovatif, ce champ sert surtout le rôle unificateur du concept d'énergie. Ainsi, les mêmes phénomènes physiques, dont l'étude dans le programme traditionnel exige des cadres conceptuels différents où l'énergie acquiert des significations différentes, sont, dans le programme innovatif, abordés conceptuellement de la même façon. Dans le programme israélien par exemple, le champ d'application est inter-phénoménologique et sert toujours l'étude des transformations et de la conservation de l'énergie. Dans ce programme, est tentée "pas à pas" une approche expérimentale qualitative et quantitative des diverses formes d'énergie à travers l'étude de leur transformation. Le champ d'application du programme français est aussi inter-phénoménologique. Le caractère inter-phénoménologique du champ d'application dans la deuxième tendance du curriculum innovatif est explicable non seulement parce qu'il sert le cadre conceptuel des chaînes énergétiques, qui de nature contient le transfert et le stockage de l'énergie en réservoirs ayant des caractéristiques phénoménologiques différentes, mais aussi parce que le champ d'application se réfère à des sujets et problèmes de la vie quotidienne et de la technologie qui généralement ont un caractère inter-phénoménologique.

2.3. Le curriculum "constructiviste"

Il est évident que l'approche constructiviste de l'apprentissage et de l'enseignement ne forme pas encore de modèle unique d'enseignement et d'élaboration d'un curriculum. Les recherches autour de l'élaboration de programmes d'enseignement constructivistes servent divers objectifs de recherche et s'appuient sur différentes conceptions relatives à l'incorporation dans l'enseignement et le curriculum de

une version assez répandue du curriculum "constructiviste" est principalement caractérisée par la construction de modèles de la chaîne énergétique à partir de l'interaction des conceptions pré-énergétiques des élèves et d'un "modèle-germe"

conclusions scientifiques se référant aux conceptions des élèves à propos des concepts physiques. Le curriculum constructiviste auquel nous nous référons concerne des approches qui semblent former des propositions alternatives complètes d'enseignement de l'énergie dans le cadre des curriculums en vigueur et non pas à travers des approches restreintes où le processus d'élaboration du concept en fonction d'un nombre limité d'activités est examiné.

Nous allons utiliser en tant que représentant du curriculum "constructiviste" une approche didactique assez répandue (Koliopoulos & Ravanis, à paraître) qui s'appuie sur l'interaction des premières conceptions des élèves, et d'un "modèle-germe" explicatif ayant pour but l'élaboration des propriétés des divers modèles de la chaîne énergétique (Lemeignan & Weil-Barais, 1990; Tiberghien & Megalakaki, 1995; Koliopoulos, 1997). Cette approche inter-phénoménologique exige l'activation du raisonnement causal et linéaire "source-action-récepteur" que les élèves utilisent très fréquemment quand ils tentent de décrire et/ou d'expliquer le fonctionnement de divers systèmes physiques (Tiberghien, 1989; Psillos, 1995), il en résulte la formulation de conceptions que certains nomment *conceptions pré-énergétiques*, compatibles au niveau qualitatif avec certains modèles de la chaîne énergétique.

Les objectifs didactiques du curriculum constructiviste influencent plus ou moins, aussi bien l'organisation que la nature du contenu conceptuel des différentes approches didactiques. Un élément essentiel de la structuration conceptuelle de ces approches est qu'elles insistent tout d'abord sur les éléments qualitatifs de divers concepts en renforçant ainsi les conceptions pré-énergétiques des élèves qui progressivement évoluent dans des cadres quantitatifs. Par exemple, dans l'approche de Lemeignan & Weil-Barais (1993) sont introduits différents systèmes physiques (comme le circuit simple pile-ampoule, une maquette de voiture électrique, la lampe qui s'allume à l'aide d'une dynamo et de la chute d'un corps, etc.) dont les élèves doivent décrire et expliquer le fonctionnement, et tout d'abord au moyen de termes qualitatifs de la chaîne énergétique. Par la suite, on insiste sur la modification d'un montage pour faire varier un effet produit (que faire par exemple, pour que la lampe s'allume de la même manière plus longtemps? Ou, que faire pour que la voiture aille plus loin?), ce qui exige désormais l'utilisation du concept d'énergie en tant que quantité. Ainsi dans l'approche de Koliopoulos (1997), comme il a été constaté que les élèves expriment plus facilement des conceptions pré-énergétiques dans les phénomènes thermiques plutôt que dans les phénomènes mécaniques, l'introduction du "modèle-germe" se fait à travers les phénomènes thermiques, et ensuite est tentée son élaboration dans des phénomènes mécaniques au moyen d'analogies.

L'élaboration d'éléments de divers modèles de la chaîne énergétique représente, de toute façon, une des caractéristiques principales du curriculum constructiviste. La fonctionnalité de ce cadre conceptuel semble être due, tout d'abord, à la compatibilité du modèle avec le champ initial des conceptions des élèves pour le concept d'énergie, à savoir les conceptions pré-énergétiques. Cette compatibilité est due tant à des *ressemblances syntaxiques*, qu'au *genre de l'explication donnée* (explication causale selon laquelle la cause est en rapport avec les facteurs extérieurs du changement du système physique étudié (Halbwachs, 1973). Elle est également due à sa *puissance heuristique*. Cette dernière peut être résumée : a) à sa capacité de fonctionnement précis tant au niveau qualitatif qu'au niveau quantitatif, fait qui contribue considérablement au processus de transformation des concepts pré-énergétiques qualitatifs en concepts énergétiques quantitatifs, et, b) à ses propriétés analogiques qui permettent l'étude énergétique de divers champs de phénomènes à travers le même cadre conceptuel.

les objectifs didactiques du curriculum constructiviste influencent le champ phénoménologique d'application du concept d'énergie

Les objectifs didactiques du curriculum constructiviste semblent aussi influencer le champ phénoménologique d'application du concept d'énergie. Ceci est dû aux activités prévues qui ont désormais pour but de renforcer un certain nombre de conceptions des élèves, ou de contribuer au dépassement de certains obstacles conceptuels. Il en résulte une limitation du théoriquement inépuisable champ d'application du concept, ceci à cause des changements conceptuels recherchés. De même, ce champ apparaît non seulement comme un élément indépendant qui jouerait simplement le rôle de support phénoménologique, mais aussi comme un élément intimement lié à ses caractéristiques conceptuelles, afin d'élaborer un cadre conceptuel. C'est ainsi que sont mises en évidence des catégories de phénomènes physiques considérés comme privilégiés pour l'application du modèle conceptuel proposé. Il s'agit de phénomènes décrits en priorité par des modèles d'un système thermodynamique ouvert. Les élèves y reconnaissent une source d'énergie et un récepteur d'énergie "évidents"; c'est le cas pour le fonctionnement d'un simple circuit électrique que l'on rencontre dans tous les programmes qui utilisent des phénomènes électriques, des situations inter-phénoménologiques, comme le fonctionnement d'un modèle de machine thermique, l'allumage d'une lampe à l'aide d'une dynamo, la remontée d'un corps (Lemeignan & Weil-Barais, 1990; Tiberghien & Megalakaki, 1995) ainsi que des phénomènes mécaniques comme la déformation d'un ressort par un objet quelconque (Koliopoulos, 1997).

Pour récapituler, nous présentons dans le tableau 1 les principaux objectifs didactiques et les principales caractéristiques du contenu conceptuel qui en découlent, et cela dans les trois sortes de curriculum.

Tableau 1. Les trois types de curriculum traitant de l'énergie

	Curriculum "traditionnel"	Curriculum "innovatif"	Curriculum "constructiviste"
Intentions et objectifs didactiques principaux	<ul style="list-style-type: none"> - Il n'existe pas de rapport entre l'actuelle analyse épistémologique du contenu de la science, les exigences sociales et les facteurs psychologiques desquels semble dépendre l'apprentissage des concepts physiques. - Ils sont en rapport principalement pour ne pas dire exclusivement avec le contenu de la science. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ils découlent de l'analyse épistémologique du contenu du concept d'énergie. - Ils se réfèrent non seulement à l'importance principale du concept en sciences physiques mais aussi à l'intérêt provenant des problèmes sociaux. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ils proviennent de l'étude des conceptions des élèves concernant l'énergie, alors que coexistent l'analyse épistémologique systématique du contenu du concept en sciences physiques et la référence aux exigences et aux pratiques sociales. - La formulation est en général réalignée de façon à ce qu'apparaisse le processus d'élaboration conceptuelle sans pourtant qu'il y ait un seul type de formulation.
Caractéristiques principales de la structure et du contenu	<ul style="list-style-type: none"> - Dispersion du concept d'énergie en diverses unités thématiques / conceptuelles où lui est attribué un sens systémique et empirique différents. - L'énergie est en général étudiée en tant que concept dérivé du travail dans le cadre de la mécanique newtonienne, où a lieu l'étude principale. - Choix fortuit du champ d'application du concept d'énergie. 	<ul style="list-style-type: none"> - L'énergie constitue une large unité conceptuelle ou un principe organisateur de tout le curriculum. Elle acquiert en général une signification unique pour toutes les unités thématiques, puisqu'elle est désormais intégrée dans un système conceptuel unique. - L'énergie est introduite en tant que concept premier, où est accentué le caractère unificateur et inter-phénoménologique qui est assuré à travers les concepts de transfert, de transformation et de conservation de l'énergie. - Le champ d'application du concept d'énergie contribue à la compréhension du caractère unificateur et inter-phénoménologique du concept d'énergie ainsi qu'à la description et à l'interprétation des situations et problèmes physiques qui proviennent de l'environnement social familial. 	<ul style="list-style-type: none"> - La séquence des unités conceptuelles est influencée surtout par les résultats de la recherche relatifs aux conceptions des élèves qualifiées comme pré-énergétiques. - L'énergie exige une unité conceptuelle unique où une élaboration progressive est tentée à travers l'introduction des différents modèles de la chaîne énergétique à partir d'un "modèle-germe". - Le champ phénoménologique d'application du concept d'énergie ne joue pas seulement le rôle du support phénoménologique mais apparaît comme un élément lié aux caractéristiques conceptuelles des différents modèles de la chaîne énergétique.

3. L'ANALYSE DES CONCEPTIONS DES ENSEIGNANTS À TRAVERS L'UTILISATION DE LA CLASSIFICATION

3.1. Cadre de l'analyse

la classification
de curriculums
concernant
le concept de
l'énergie comme
outil d'analyse
des conceptions
d'enseignants

Nous présentons la classification comme un outil d'analyse des conceptions de vingt enseignants qui ont participé à un séminaire de formation concernant l'enseignement expérimental de la physique. Il a été demandé à ces enseignants, qui avaient une dizaine d'années de pratique et qui avaient suivi d'autres séminaires en didactique des sciences physiques, de concevoir et de proposer un enseignement expérimental concernant le concept d'énergie au niveau du collège. Plus précisément, dans le but d'améliorer le programme grec traditionnel existant, il leur a été demandé : a) de concevoir une séquence d'unités thématiques relatives au concept d'énergie (qui pourrait être réalisée en une ou plusieurs heures d'enseignement) et de justifier leurs choix ; b) de proposer des activités expérimentales pour toute unité thématique où l'approche expérimentale est considérée comme indispensable. Les enseignants ont travaillé avant de se rendre au séminaire et ont présenté leurs propositions sous forme de rapport personnel et individuel. À la fin du séminaire, les chercheurs-formateurs ont présenté les résultats de leur analyse des travaux des enseignants, après quoi les enseignants, au cours d'une discussion, ont évalué leurs travaux selon le modèle de classification. Des deux analyses que nous tentons de réaliser, la première permet aux chercheurs de structurer les décisions et les pratiques des enseignants et la deuxième permet aux enseignants de se familiariser avec les approches des chercheurs et de revoir leurs travaux de façon critique.

3.2. L'analyse des données empiriques

• *Analyses des travaux des enseignants*

la possibilité
d'analyse
des conceptions
des enseignants
concernant leur
pratique
pédagogique
à l'aide de la
classification
de curriculums

Les idées exprimées dans les travaux des enseignants ont été analysées en fonction de la distinction des curriculums traditionnel, innovatif ou constructiviste, tout en suivant les éléments de base élaborés au cours de la classification, c'est-à-dire de la structuration du contenu conceptuel du programme, mentionnée dans la suite proposée des unités, de la nature du contenu conceptuel et du champ de phénomènes où s'applique le contenu. Cette analyse nous a conduits aux catégories des conceptions suivantes.

- **La conception "traditionnelle"**

La structuration du contenu conceptuel se réfère exclusivement au domaine de la mécanique. Ainsi, la séquence des unités *"Travail d'une force, Relation entre travail et énergie, Énergie potentielle et énergie cinétique, Conservation de*

le concept d'énergie est introduit comme un dérivé du concept de travail

l'énergie", proposée par un enseignant, représente un exemple caractéristique de cette conception exprimée par neuf enseignants. Nous soulignons que la dernière unité concernant la conservation de l'énergie ne représente pas de principe unificateur des propositions, mais un objet d'étude du concept d'énergie de même importance que les sujets des autres unités. Dans certains cas, est apparue une unité introductive portant le titre "*Généralités sur l'énergie*" ayant un caractère informatif, et qui ne constitue pas un élément essentiel dans la structuration de la proposition. Dans cette unité par exemple, on peut trouver l'importance sociale de l'énergie, ses différentes formes et sa possibilité de transformation d'une forme en une autre. En fait, le cadre conceptuel utilisé est celui de la mécanique où le concept d'énergie est introduit comme un dérivé du concept de travail. Enfin, les expériences proposées concernent surtout l'unité de conservation de l'énergie et sont réduites à la question de la transformation cinétique ou potentielle (de simples appareils de transformation d'énergie cinétique ou potentielle, par exemple).

- La conception "pseudo-innovative"

juxtaposition d'unités se référant à l'énergie mécanique et d'unités relatives au caractère interphénoménologique du concept

La structuration des propositions de cette conception exprimée par cinq enseignants, semble être une tentative de juxtaposition et/ou mélange des unités qui se réfèrent à l'énergie mécanique, et d'unités relatives au caractère interphénoménologique du concept. Deux exemples caractéristiques d'une telle structuration sont les suivants : "*Énergie (généralités), Formes d'énergie, Énergie mécanique, Travail, Conservation de l'énergie mécanique, Machines simples, Puissance, Crise énergétique et Travail*"; "*Puissance, Énergie cinétique et potentielle, Formes et transformation d'énergie, Conservation de l'énergie, Crise énergétique*". Les cinq enseignants qui expriment cette conception reconnaissent le rôle primordial que doit jouer le concept d'énergie dans le programme d'enseignement, mais ils ne parviennent pas à élaborer l'organisation conceptuelle adéquate pour y arriver. Ainsi, ont-ils recours à l'approche traditionnelle où l'importance de l'étude du concept se déplace vers les phénomènes mécaniques, et à l'approche "travail-énergie". Après avoir constaté que les élèves devaient avant tout reconnaître le rôle capital de l'énergie dans la vie quotidienne et dans l'activité technologique de l'homme, une enseignante déclare : "... *Après, l'étude de l'énergie mécanique et du travail va donner à l'élève une estimation plus "réelle" de l'énergie à travers l'étude des activités expérimentales.*" Les activités expérimentales systématiques que les enseignants partageant cette conception proposent, concernent surtout le champ des phénomènes mécaniques, et s'amenuisent au cours des expérimentations proposées par le manuel du curriculum traditionnel.

- La conception "innovative"

références
directes ou
indirectes au
cadre
conceptuel des
chaînes
énergétiques

Dans cette conception qu'expriment quatre enseignants, la structuration du contenu mais aussi les activités expérimentales proposées contribuent à l'idée de l'introduction de l'énergie en tant que concept premier à travers les propriétés du transfert, de la transformation, de la conservation et du rythme du transfert. Un exemple caractéristique de la structuration du contenu est le suivant : *"L'énergie comme entité physique stockée, Transfert d'énergie, Transformations d'énergie, Conservation d'énergie, Sources d'énergie, Coût et importance économique de l'énergie, Rythme de consommation de l'énergie"*. La tentative des enseignants consiste surtout à intégrer l'étude de l'énergie mécanique dans un nouveau cadre. De cette façon, certains se réfèrent directement, et d'autres indirectement, au cadre conceptuel des chaînes énergétiques. Une tentative est faite par exemple pour que *"le travail soit présenté comme une forme de transfert d'énergie"* ou que *"le rythme de consommation d'énergie soit distingué de la quantité d'énergie "disponible"*. Enfin, les activités expérimentales proposées s'intègrent à un champ inter-phénoménologique d'application du concept d'énergie, et ont comme intention principale le constat du principe de conservation de l'énergie et comme cas particulier, le constat du principe de conservation de l'énergie mécanique.

- La conception "pseudo-constructiviste"

importance des
idées préalables
des élèves :
connue mais
pas exploitée

Selon cette conception exprimée par deux enseignants, dans la conception du programme, les idées des élèves concernant l'énergie doivent être exprimées avant l'enseignement. Par la suite cependant, ces idées ont du mal à se rapprocher de l'organisation conceptuelle du contenu et des activités exigées pour un changement conceptuel. On ne peut justifier, par exemple, que les idées des élèves puissent influencer les unités thématiques de la séquence proposée : *"L'énergie et le mouvement, L'énergie et la chaleur, L'énergie et la nourriture, Les sources et l'économie d'énergie, Autres formes d'énergie"*, alors qu'en même temps aucune des stratégies de formation conceptuelle proposées par le curriculum constructiviste ne possède d'éléments de ces idées. Il paraît évident que cette conception a été influencée par les séminaires de formation des enseignants où, très souvent, sont présentés tels quels les résultats de la recherche en didactique des sciences physiques.

• *Élucidation des idées des enseignants à travers la classification*

l'acceptation
par les
enseignants de
la fonctionnalité
et l'utilité de la
classification
de curriculums
comme outil de
communication
et de formation

Au cours de la discussion qui a suivi la présentation des résultats de l'analyse des travaux des enseignants, nous avons constaté que la plupart des enseignants ont semblé avoir compris l'utilité d'un tel outil dans leurs pratiques pédagogiques. La discussion a abouti à la formulation des quatre constats importants suivants de la part des enseignants.

les enseignants prennent conscience des caractéristiques de leur travail...

- Les enseignants ont pris conscience des caractéristiques, des composantes et des limites du cadre dans lequel ils travaillent. Par exemple, la plupart des enseignants qui ont exprimé la conception traditionnelle ou pseudo-innovative reconnaissent que, bien qu'ils ajoutent une unité relative aux transformations des différentes formes d'énergie dans une séquence d'unités dont le contenu conceptuel se base sur l'approche "travail-énergie", ils n'échappent pas au curriculum traditionnel. Ils reconnaissent également que pour réussir une approche du curriculum innovatif, toutes les unités devraient être planifiées selon "*un cadre conceptuel différent, un axe comme celui de la chaîne énergétique*". Enfin, un autre enseignant ayant exprimé la conception innovatrice décrit comment, à travers la classification des curriculums, ce qui était jusqu'à présent implicite se transforme en explicite : "*Maintenant je peux voir que mon travail est basé sur des regroupements de phénomènes et de concepts implicites.*"

... et du pouvoir séparateur de l'outil qui conduit à un élargissement de leurs choix

- Les enseignants se sont rendus compte du pouvoir séparateur de l'outil de classification qui conduit à l'élargissement de leurs choix. Par exemple, dans le cadre du débat relatif au statut d'une expérience traditionnelle qui est en rapport avec la conservation de l'énergie mécanique (roue de Maxwell) et cela dans un programme d'enseignement de l'énergie, un certain nombre d'enseignants reconnaissent que l'utilisation de l'expérience est différente selon le type du curriculum. C'est-à-dire qu'ils reconnaissent que dans un curriculum traditionnel l'expérience sert une nécessité logistique (confirmation du rapport $E_p + E_c = \text{const.}$), ce qu'un grand nombre d'entre eux ont appliqué jusqu'à présent. Ils reconnaissent également que dans le curriculum innovatif cette expérience pourrait faire partie du cadre conceptuel de la chaîne énergétique. "*Ceci aurait comme conséquence l'étude du problème des conditions sous lesquelles la roue de Maxwell s'arrête (transfert de l'énergie dans l'environnement), ce qui présuppose de changer les questions que l'on pose aux élèves au cours de l'expérimentation ou au cours de leur évaluation.*" note un enseignant qui a exprimé la conception traditionnelle. Au cours de la discussion, les enseignants ont souvent évoqué ce problème pour d'autres expérimentations, ce qui apporte un certain nombre de preuves qui confirment que le pouvoir séparateur de la classification des curriculums favorise l'élargissement et/ou le changement du champ questionnemental (Lemeignan & Weil-Barais, 1993; Weil-Barais 1994).

- La classification des curriculums a donné aux enseignants la possibilité de formaliser et expliquer leurs pratiques pédagogiques, et par conséquent de pouvoir justifier et soutenir avec des arguments ces pratiques. Par exemple, un enseignant qui a exprimé la conception innovatrice soutient que : "*Certaines choses se font par instinct. Depuis que j'ai suivi le séminaire, je cherche à trouver les regroupements et à systématiser mon travail. J'introduis, par exemple, toujours le*

ils peuvent plus facilement formaliser et expliquer leurs pratiques...

... ainsi que planifier et organiser leur enseignement

condensateur dans une série d'expérimentations et non pas dans une seule où l'on mesure simplement l'énergie qui s'emmagasine en lui, comme le font la plupart de mes collègues. Je fais tout d'abord en sorte que la pile charge le condensateur qui emmagasine l'énergie "invisible". Puis je connecte une lampe qui montre que l'énergie se transmet à elle en ayant auparavant été emmagasinée dans le condensateur. Maintenant je vois que cette activité peut être véhiculée par le modèle de la chaîne énergétique dans le cadre du curriculum innovatif." Ce point de vue est soutenu par d'autres enseignants qui utilisent des exemples similaires.

- Le modèle de classification des curriculums peut faciliter la planification et la réorganisation de leur enseignement. Par exemple, certains enseignants ont formulé l'idée que *"la distinction entre les trois types de programmes représente un véhicule de passage de la théorie à son application car elle facilite la planification en question"*. Quand a été posée à un enseignant la question de savoir ce qui changerait dans son travail après le suivi du séminaire, il a répondu qu'il limiterait le nombre d'expériences qu'il avait prévues, afin d'insister sur le contenu conceptuel de celles-ci. Un autre enseignant prétend enfin que le passage d'un curriculum traditionnel à un curriculum innovatif et du curriculum innovatif au curriculum constructiviste est nécessaire car *"il fournit à l'enseignant des informations plus sûres quant à ses pratiques éducatives même si elles sont moins nombreuses"*, c'est-à-dire qu'il attribue une structure hiérarchique à la classification des curriculums en utilisant comme critère la qualité des informations fournies par les trois types de curriculum. La reconnaissance de cette nécessité conduit cet enseignant à la réorganisation du contenu conceptuel et du champ d'application du concept d'énergie qu'il a proposés dans son travail et à l'abandon d'une série d'activités expérimentales.

Pour finir, nous remarquons qu'il n'existe pas de références précises quant à l'utilisation du curriculum constructiviste car il ne représente pas de champ pour les pratiques pédagogiques des enseignants. Même ceux qui expriment une conception pseudo-constructiviste ne peuvent utiliser la classification des curriculums pour réorganiser leurs propositions. Ceci est sans doute dû au fait que le curriculum constructiviste ne peut être défini en tant qu'élément de l'expérience et des intérêts des enseignants puisqu'il représente encore un objet/produit de recherche. Les difficultés relatives à la formation des enseignants concernant le constructivisme ont été souvent soulignées (Louden & Wallace, 1994).

4. DISCUSSION

Le cadre constitué par la classification proposée semble pouvoir offrir certaines possibilités à la tentative de réduire les distances entre la recherche en didactique des sciences physiques et les pratiques pédagogiques dans l'enseignement des sciences physiques. Même en tenant compte du nombre limité d'enseignants de l'échantillon utilisé, si on approche cette classification à travers ces deux points de vue, nous avons la possibilité de mettre en valeur certains éléments qui constituent des champs d'intérêts communs et qui permettent la création d'un cadre de communication, puisqu'ils favorisent la lecture du réel à travers l'élaboration et la transformation d'*"un contexte bien particulier de dialogue, appelé système commun de significations"* (Amigues et Caillot, 1990).

Comme nous l'avons vu dans l'exemple utilisé, la classification permet aux chercheurs l'étude de l'activité pédagogique en utilisant des critères qui proviennent du cadre théorique de la didactique des sciences physiques. En effet, dans l'étude en question, tout en essayant d'analyser les choix des participants quant à l'organisation et la programmation de l'enseignement de l'énergie, nous avons abordé leurs propositions en nous fondant sur des notions comme celles de conceptions, transposition didactique, constructivisme, etc. Ces notions familières aux didacticiens représentent des outils d'importance pratique pour les chercheurs, mais probablement des mots sans contenu particulier, et certainement sans valeur d'utilisation pour les enseignants, et cela même s'il s'agit d'enseignants ayant suivi des séminaires de didactique des sciences physiques basés uniquement sur la présentation des résultats de recherches. Puisque ces notions que nous avons tenté de leur transmettre en tant qu'outils d'une autre réalité – le monde de la recherche – se placent dans un cadre, visant l'étude des pratiques pédagogiques; elles peuvent alors se transformer en outil de communication autorisant l'approche de problèmes qui surgissent du cadre de leur réalité.

Si, de plus, toute tentative d'établir de tels outils de communication a comme perspective non seulement la définition, la description et la catégorisation des pratiques pédagogiques, mais aussi la formation des termes de réorganisation, de différenciation et leur transformation, elle crée ainsi chez les enseignants les conditions d'appropriation des possibilités d'une telle tentative. C'est-à-dire qu'elle permet la restructuration de l'ensemble du système de significations que les enseignants adoptent pour l'étude de leurs pratiques pédagogiques, puisque le statique peut à présent paraître dynamique, le descriptif peut paraître interprétatif et le "sans valeur pratique" devient immédiatement utilisable. C'est pour cela précisément que la classification que nous avons présentée et utilisée dans cet article permet l'approche sys-

orienter la
recherche vers
l'établissement
des systèmes
de notions
communs aux
didacticiens et
aux enseignants
pour faciliter leur
communication
et améliorer leur
vision théorique
et pratique

tématique de continuités et discontinuités dans les divers types de curriculum, tandis qu'elle formule des conditions pour la comparaison des divers choix et pratiques pédagogiques.

Évidemment, la classification en question a une portée limitée, compte tenu du fait qu'elle a été constituée uniquement en fonction de l'étude des programmes d'enseignement de l'énergie. De ce point de vue, la tentative de recherche des trois formes de curriculum (traditionnel, innovatif et constructiviste) présentera un intérêt particulier, dans d'autres champs de sciences physiques également. Car, si cette classification demeure fructueuse aussi dans d'autres parties de curriculum, nous aurons des indications précises quant à sa valeur heuristique. Une autre orientation importante vers laquelle notre travail doit se diriger est celle de l'approfondissement des caractéristiques fonctionnelles de la classification, constatées par les enseignants eux-mêmes, car cela permettra l'étude approfondie des conceptions des enseignants et leurs modifications. D'un autre côté, la tentative d'implication dans l'utilisation de ce modèle non seulement d'enseignants mais aussi d'autres acteurs du processus éducatif, serait significative (comme par exemple les concepteurs de curriculums, les auteurs de manuels scolaires), acteurs qui pourraient peut-être étudier et mettre en valeur certains côtés de cette classification.

Dimitris KOLIOPOULOS
Konstantinos RAVANIS
Département des Sciences de l'éducation
Université de Patras, Grèce

transposer les
résultats de cette
recherche à
d'autres champs
conceptuels

BIBLIOGRAPHIE

- AGABRA, J. et al. (1979). *Sciences Physiques*, Collection *Libres Parcours*. Paris : Hachette.
- AMIGUES, R. & CAILLOT, M. (1990). "Les représentations graphiques dans l'enseignement et l'apprentissage de l'électricité". *European Journal of Psychology of Education*, V, 4, 477-488.
- ARONS, A.B. (1990). *A guide to introductory Physics learning*. J. Wiley & Sons.
- BALTAS, A. (1990). "Once again on the meaning of physical concepts". In Nikola-kopoulos P. (Eds.), *Greek studies in the Philosophy and History of Science* (pp. 293-313). Kluwer Academic Publishers.
- DRIVER, R., SQUIRES, A., RUSHWORTH, P. & WOOD-ROBINSON, V. (1994). *Making sense of secondary science. Research into children's ideas*. London : Routledge.

DUIT, R. & HAEUSSLER, P. (1994). "Learning and Teaching Energy". In Fensham, P., Gunstone, R. & White, R. (Eds.), *The Content of Science, A Constructivist Approach to its teaching and learning*. London : The Falmer Press.

HABER-SCHAIM, U. (1983). *Energy*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. Jersey.

HALBWACHS, F. (1973). "L'Histoire de l'explication en Physique". In J., Piaget et al., *L'Explication dans les Sciences* (pp. 72-102). Paris : Flammarion.

JOHNSON, K. & A. (1991). *Physics for you*. London : Stanley Thornes Publishers Ltd.

KOLIOPOULOS, D. (1997). *Approches épistémologiques et didactiques du processus de construction de curriculum : le cas de la transposition didactique et de l'apprentissage du concept d'énergie*. Thèse. Patras : Université de Patras.

KOLIOPOULOS, D. & TIBERGHIE, A. (1986). "Éléments d'une bibliographie concernant l'enseignement de l'énergie au niveau des collèges". *Aster*, 2, 167-178.

KOLIOPOULOS, D. & RAVANIS, K. (à paraître). "Élaboration et évaluation du contenu conceptuel d'un curriculum constructiviste concernant l'approche énergétique des phénomènes mécaniques".

LEHRMAN, R.L. (1973). "Energy is not the ability to do work". *The Physics Teacher*, 11, 1, 15-18.

LEMEIGNAN, G. & WEIL-BARAIS, A. (1990). *L'apprentissage de la modélisation dans l'enseignement de l'énergie*. Rapport interne. LIRESPT, Université Paris 7.

LEMEIGNAN, G. & WEIL-BARAIS, A. (1993). *Construire des concepts en Physique*. Paris : Hachette Éducation.

LOUDEN, W. & WALLACE, J. (1994). "Knowing and teaching science : the constructivist paradox". *International Journal of Science Education*, 16, 6, 649-657.

MARTINAND, J.-L. (1994). "La Didactique des Sciences et de la Technologie et la formation des enseignants". *Aster*, 19, 61-75.

PSILLOS, D. (1995). "Adapting science teaching to student's reasoning". In D., Psillos (Ed.), *Proceedings of the 2nd PhD Summerschool "European Research in Science Education"* (pp. 57-71). Thessalonique : Art of Text.

SHADMI, Y et al. (1978). *Investigating the concept of energy in the 9th grade*. The Hebrew University of Jerusalem and the Curriculum Development Center (Education Ministry of Israel).

SOLOMON, J. (1992). *Getting to know about energy - in school and society*. London : The Falmer press.

TIBERGHIEU, A. (1989). "Learning and teaching at middle school level of concepts and phenomena in physics : the case of temperature". In H., Mandl et al. (Eds.), *Learning and Instruction : European research in an International context* (pp. 631-648). Oxford : Pergamon Press.

TIBERGHIEU, A. & MEGALAKAKI, O. (1995). "Characterisation of a modelling activity for a first qualitative approach to the concept of energy". *European Journal of Psychology of Education*, X, 4, 369-383.

WEIL-BARAIS, A. (1994). "L'initiation scientifique et technique auprès de jeunes enfants : points de vue épistémologique et psychologique". In A., Giordan, J.-L., Martinand & D., Raichvarg (Eds.) *Actes XVI^{es} JIES*, Chamonix (pp. 99-106).

ZENAKOS, A. et al. (1994). *Physique*. Athènes (en grec).

POINTS DE VUE DE PROFESSEURS ET DE FUTURS PROFESSEURS DE CHIMIE CONCERNANT L'ENSEIGNEMENT DE LA COMBUSTION

Onno de Jong

Une des tâches importantes des professeurs de sciences devrait être de prendre en compte les (pré) conceptions et les difficultés des élèves ainsi que de négocier les significations de concepts scientifiques bien spécifiques. Dans ce contexte, la connaissance du contenu pédagogique chez les enseignants joue un rôle important.

Cet article présente une étude des points de vue qu'ont les futurs enseignants de chimie sur la manière d'enseigner le concept de la combustion. Sept futurs enseignants et sept professeurs confirmés ont été invités à préparer un premier cours sur la combustion (pour des élèves de 14-15 ans). Les entretiens enregistrés de façon semi-informelle avec les enseignants, la rédaction de leurs projets de séance ainsi que leurs réponses à un questionnaire joint constituent les données recueillies.

Les résultats révèlent nombre de caractéristiques importantes des points de vue de ces professeurs sur l'enseignement de la combustion. On a également trouvé des différences intéressantes entre les points de vue des futurs enseignants et ceux des professeurs confirmés. On présentera ici les implications de cette étude concernant la formation des professeurs de sciences.

1. CONNAISSANCES DES PROFESSEURS DE SCIENCES

On a connu ces dernières années un intérêt grandissant pour les conceptions des professeurs de sciences sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences (Anderson et Mitchener, 1994). La recherche dans ce domaine a été stimulée par au moins deux notions importantes relatives à la réflexion des enseignants. La première est l'existence d'un lien étroit entre le mode de pensée des professeurs et la manière dont ils enseignent. Comme l'ont fait remarquer Clark et Peterson (1986), ce lien a une caractéristique de réciprocité : les conceptions des enseignants influencent l'organisation de leurs cours et de leur classe, et inversement, leurs pratiques d'enseignement influencent leurs conceptions. La deuxième notion est que les enseignants se devraient de connaître les représentations préexistantes des élèves sur les concepts et les règles. Comme Hewson et Thorley (1989) ainsi que Bromme (1987) l'ont remarqué, les

deux notions
relatives
à la réflexion
des enseignants

professeurs devraient tenir compte de ces représentations préexistantes s'ils veulent créer des conditions d'apprentissage favorables à un changement conceptuel. En conclusion la connaissance des conceptions des professeurs de sciences est importante, car le savoir acquis peut contribuer à élucider des problèmes d'enseignement des sciences et à progresser dans la formation scientifique.

connaissances
de contenu,
connaissance
pédagogique
générale,
connaissance
du contenu
pédagogique

Les connaissances des professeurs de sciences peuvent être classées en différentes catégories. La classification la plus courante, mise au point par Shulman (1987), peut se résumer ainsi : connaissance du contenu, connaissance pédagogique générale, et connaissance du contenu pédagogique. Dans le cas des professeurs de sciences, la connaissance du contenu renvoie à leurs connaissances des thèmes scientifiques, de la nature et de la structure des sciences, tandis que la connaissance pédagogique générale renvoie à leurs connaissances des principes et stratégies générales, par exemple les niveaux de développement de Piaget et la gestion d'une classe. Enfin, la connaissance du contenu pédagogique représente cet *"amalgame particulier de contenu et de pédagogie qui est du ressort des seuls enseignants"* (Shulman, 1987, p. 8). Elle a trait à la faculté de traduire et formuler des thèmes scientifiques de manière à les rendre intelligibles pour les élèves. Elle inclut aussi une compréhension de ce qui rend l'apprentissage d'un sujet spécifique facile ou difficile : par exemple les représentations préexistantes que les élèves vont mobiliser pour ce sujet.

Jusqu'à présent, si on s'est penché sur l'étude des connaissances des professeurs de sciences, c'est pour insister surtout sur deux principales catégories de savoirs : la connaissance du contenu, spécialement chez les maîtres du primaire, et la connaissance pédagogique générale. Or, la connaissance du contenu pédagogique est aussi très importante à examiner et sera une question centrale de cet article.

pour cette
dernière
connaissance,
des différences
importantes
entre professeurs
confirmés
et futurs
enseignants

Alors que les professeurs de sciences acquièrent la connaissance de leur matière essentiellement pendant leurs années d'études au niveau universitaire, ils ne développent vraiment leur connaissance du contenu pédagogique qu'à partir du moment où ils commencent à enseigner. C'est pour cette raison qu'il est important, dans ce domaine, de faire une distinction entre d'une part, les professeurs confirmés et d'autre part, les futurs enseignants. Les professeurs confirmés ont consolidé cette connaissance du contenu pédagogique au fil de leurs années d'enseignement. Leurs *"paradigmes fonctionnels"* (Lantz et Kass, 1987) sont influencés par une grande variété de facteurs, tels que leur développement personnel, leur connaissance des représentations préexistantes chez les élèves et des stratégies particulières d'enseignement. Mais les professeurs débutants, comme le sont les futurs enseignants, manquent considérablement d'expérience dans ce domaine. L'un des facteurs qui influence le plus leurs points de vue est leur bagage personnel, en particulier l'expérience qu'ils ont eue, eux-

mêmes, des cours de sciences suivis quand ils étaient élèves et étudiants (Huibregtse, Korthagen et Wubbels, 1994). En bref, les professeurs confirmés ont la faculté de donner à leur connaissance du contenu une forme qui puisse être transmise aux élèves, alors que les futurs enseignants ont encore à acquérir cette capacité.

de même pour
la nature de leurs
préoccupations
d'enseignants

Une autre distinction intéressante entre professeurs confirmés et futurs enseignants a trait à la nature de leurs préoccupations en tant qu'enseignants. Fuller et Bown (1975) ont dressé un tableau des préoccupations des enseignants. Ces auteurs décrivent les changements de nature des préoccupations de l'enseignant comme des étapes de leur développement professionnel. Selon eux, la première étape concerne le souci de l'image de soi et les moyens de survie dans la classe : c'est le "doute de soi". La deuxième étape concerne la performance de l'enseignant et son adéquation par rapport à la connaissance du contenu : c'est la préoccupation centrée sur la tâche. L'étape finale concerne la connaissance des élèves et de leurs processus d'apprentissage : c'est la préoccupation centrée sur l'apprenant. Donc, selon ce schéma en étapes, les professeurs confirmés ont surtout la préoccupation de l'élève alors que les doutes des futurs enseignants portent surtout sur eux-mêmes.

La présente étude insiste sur la connaissance du contenu pédagogique et les préoccupations des deux groupes : professeurs confirmés et futurs enseignants. Dans le cadre de cette étude, on a choisi un sujet du programme considéré comme l'un des points les plus fascinants enseignés à des élèves de collège : la combustion. À première vue, ce sujet du programme semble facile à comprendre pour les élèves, ne serait-ce que parce qu'ils y sont familiarisés par des expériences personnelles telles que la combustion d'une bougie ou d'un morceau de bois. Pour les élèves de collège, cependant, ce sujet semble soulever de nombreuses difficultés conceptuelles (voir § 2). L'existence même de ces difficultés souligne la nécessité d'une réflexion appropriée chez le (futur) professeur qui enseigne ce sujet.

d'où les deux
pôles de cette
étude comparée
à propos de
l'enseignement
de la combustion

Cette étude cherche à identifier :

- *quelles connaissances du contenu pédagogique ont les futurs enseignants et les professeurs confirmés en ce qui concerne l'enseignement de la combustion ;*
- *quelles préoccupations ont les futurs enseignants et les professeurs confirmés confrontés à l'enseignement de la combustion.*

Elle cherche aussi à explorer le domaine suivant :

quelles différences y a-t-il entre les futurs enseignants et les professeurs confirmés concernant cet enseignement (contenu pédagogique et préoccupations) ?

On a encore très peu publié d'études sur la façon dont les futurs enseignants et professeurs confirmés conçoivent l'enseignement de la combustion. L'objectif de la présente étude est d'explorer leurs conceptions et leurs préoccupations. Les

résultats de cette recherche peuvent être utiles à l'élaboration d'une formation basée sur le constructivisme, destinée aux professeurs de sciences, au cours de laquelle les formateurs des enseignants prennent en compte les points de vue des participants.

2. LE THÈME DE LA COMBUSTION À L'ÉCOLE

Dans les collèges la combustion est le plus souvent abordée en même temps que l'introduction et/ou l'application du thème de la réaction chimique. La combustion est alors souvent définie comme la transformation d'une substance par le biais de l'oxygène accompagnée d'un phénomène de flamme. La plupart des manuels usuels contiennent des descriptions d'expériences à réaliser en classe en faisant brûler une bougie, un morceau de bois ou de magnésium etc.

concernant la
compréhension
de ce concept

Plusieurs aspects de la combustion semblent poser beaucoup de problèmes de compréhension aux élèves comme l'indique un bon nombre de recherches émanant de plusieurs pays, relevées par Driver (1994) et Griffiths (1994). Les aspects qui causent ces difficultés conceptuelles peuvent être répertoriés comme suit.

quatre champs
de difficultés

- Les phénomènes de lumière et de chaleur tels que l'incandescence dans le cas de la laine de fer chauffée (Haupt, 1984).
- Les conditions nécessaires à la combustion telles que le rôle de l'oxygène ou de l'air (Méheut et al., 1985).
- Les transformations de substances telles que l'absence de point commun entre la combustion et l'évaporation (Boujaoude, 1991 ; Pfundt, 1982), l'existence de produits gazeux de combustion (Hesse et Anderson, 1992) et la production de suie quand une bougie se consume (Abraham et al., 1994).
- Les effets quantitatifs comme ceux qui se produisent lorsqu'on fait brûler un morceau de carbone (Sumfleth et Todtenhaupt, 1995) et un morceau de laine de fer (Donnelly et Welford, 1988).

d'où, au collège,
une
compréhension
souvent
fragmentée

Les résultats globaux ont montré que la compréhension de la combustion chez les élèves de collège est souvent fragmentée, illogique et en désaccord avec les significations scientifiques. En ce qui concerne l'illogisme des explications des élèves relatives à la combustion, Watson et al. (1997) ont montré que cet illogisme pourrait être l'indication d'un changement conceptuel. Il se peut que les élèves soient dans un stade de transition, de passage entre la reconnaissance d'une théorie et une autre. Dans une autre recherche, les mêmes auteurs (Watson et al., 1995) montrent qu'un travail pratique fait en classe a peu d'effets sur la compréhension de la combustion chez les élèves. Il semble que ces derniers ne parviennent pas à utiliser les connaissances acquises par

les expérimentations pour modifier leurs formulations expliquant la combustion.

3. CONNAISSANCE DU CONTENU PÉDAGOGIQUE ET PRÉPARATION DE SÉANCES DE COURS

On utilisera une classification tirée de Tamir (1988) pour définir le concept de contenu pédagogique chez les enseignants. Tamir a avancé une distinction entre quatre domaines différents : programme, élève, méthodes d'enseignement et évaluation. Dans notre étude, nous définirons ces domaines de la façon suivante.

quatre domaines de connaissances pour définir le concept de contenu pédagogique

- Par connaissances relatives au programme, on entendra les connaissances du sujet du programme que l'on enseigne ainsi que les connaissances des points traités avant et après dans le programme et qui sont en relation avec le sujet.
- Les connaissances relatives à l'élève signifient la connaissance des représentations préexistantes ainsi que des difficultés conceptuelles des élèves relatives au point spécifique du programme que l'on traite.
- Les connaissances des méthodes d'enseignement correspondent non seulement à la connaissance des différentes activités d'enseignement appropriées, comme le choix du matériel pédagogique spécifique et des expériences, mais également à la connaissance des méthodes d'organisation de la classe telles que la façon de répartir les élèves en petits groupes de travail.
- Les connaissances relatives à l'évaluation s'appliquent à la connaissance de tests portant sur un contenu spécifique et d'autres outils pouvant servir à estimer les connaissances et les compétences des élèves.

le contexte de l'étude : la préparation de cours

Les conceptions et les préoccupations des enseignants jouent un rôle important lors de la préparation des cours (Bromme et Brophy, 1986). Dans cette étude, nous examinerons les connaissances du contenu pédagogique et les préoccupations des professeurs de sciences dans le contexte de la préparation de leurs cours. Parmi les diverses activités pédagogiques, celle-ci met l'accent sur plusieurs aspects de la situation d'enseignement et d'apprentissage. Les principaux sont (de Cecco, 1968) : les objectifs d'enseignement, les connaissances de départ des élèves, les méthodes d'enseignement et l'évaluation des performances.

La préparation de ce qui va constituer un cours spécifique, pour un enseignant, peut être assimilée à ce que Tamir appelle l'élaboration du contexte pédagogique. Formuler des objectifs d'enseignement demande une connaissance du programme, définir les connaissances de départ des élèves s'appuie sur une connaissance du mode de pensée des élèves, établir des méthodes d'enseignement exige une connaissance des approches pédagogiques et enfin, mettre au point une évaluation des performances requiert une

connaissance de l'évaluation. En somme, la préparation d'un projet de séances de cours est donc une source d'information précieuse pour étudier les connaissances et les préoccupations des enseignants.

4. PROJET DE LA RECHERCHE

En 1996, des recherches ont été entreprises dans le but d'étudier la façon dont des futurs enseignants et des professeurs confirmés hollandais envisageaient l'enseignement de sujets de chimie. Ces recherches ont été conçues comme une étude transversale. Comparée à l'alternative fort répandue, une étude longitudinale, la démarche choisie présente de nombreux avantages. Elle écarte le danger de perdre des participants en cours de route en raison de longs intervalles et celui de résultats faussés par des évaluations répétées effectuées sur chaque participant. Cependant une des difficultés méthodologiques liées aux études transversales réside dans le risque d'erreurs d'interprétation dû à la comparaison de groupes non équivalents. Ce qui fit pencher la balance, fut le fait qu'il est plus facile de réaliser des études transversales et que plusieurs recherches sur la compréhension conceptuelle se sont basées dessus (voir Abraham et al., 1994).

Les futurs enseignants hollandais qui désirent devenir professeurs confirmés du secondaire (en cycle terminal) doivent suivre une formation préparatoire à l'université. Cette formation comprend deux parties : un cursus qui va jusqu'à la maîtrise et un autre postérieur à l'obtention de ce diplôme. Le cursus précédant le diplôme (deux mois) peut être considéré comme une première orientation concernant l'éducation secondaire et le métier d'enseignant. Le cursus qui suit l'obtention du diplôme (un an) comprend à la fois des cours théoriques universitaires, des ateliers et des activités d'immersion professionnelle dans des établissements scolaires du secondaire. On trouve dans Wubbels (1992) une étude complète de la formation des enseignants dans l'université hollandaise. Sept futurs enseignants, appartenant tous au cursus pré-maîtrise, ont participé à cette recherche. Ces futurs enseignants avaient étudié la chimie à l'université d'Utrecht depuis environ quatre ans. Ils ont commencé à participer à cette recherche à la fin de leur formation d'orientation. Cette formation a pour but de donner aux étudiants l'occasion de passer en revue les perspectives traditionnelles et nouvelles de l'enseignement de la chimie et de voir vers lesquelles vont leurs préférences. Les étudiants avaient participé à divers ateliers concernant par exemple la nature des sciences, le curriculum de chimie, les représentations préexistantes chez les apprenants et les sujets abordés dans l'enseignement et l'apprentissage de la chimie. Ils avaient aussi passé deux semaines à observer l'enseigne-

une recherche
conçue comme
une étude
transversale

ont participé
sept futurs
enseignants
en fin de leur
formation
d'orientation...

ment de la chimie en classe et une semaine à l'enseigner eux-mêmes dans le secondaire, au niveau collège et lycée. Les futurs enseignants n'étaient pas familiarisés avec les représentations préexistantes des élèves concernant la combustion et n'avaient pas eu l'expérience préalable d'observer, de préparer ou de faire des cours sur ce sujet.

... ainsi que
sept professeurs
confirmés

Sept professeurs confirmés ont aussi participé à cette recherche. Ils avaient tous une ancienneté importante dans leur établissement et avaient enseigné la chimie dans le secondaire depuis environ 19 ans. Tous les professeurs utilisaient des manuels courants.

5. DÉROULEMENT DE LA RECHERCHE

Ils devaient faire
un projet
de séance
de 40 mn sur
la combustion...

On a demandé à tous les futurs enseignants de faire le projet d'une séance de 40 minutes sur la combustion. Cette séance devait s'adresser à des élèves de 9^e (14-15 ans) de classes hétérogènes dans des établissements scolaires préparant au VWO (niveau pré-universitaire). Dans ces établissements, cette classe (9^e) ouvre le premier cycle du niveau secondaire et c'est le plus souvent la première année où on étudie la chimie. On a dit aux futurs enseignants que les sujets habituels du programme avaient été traités avant la combustion : changement d'état, corps purs, mélanges, substances décomposables (ou non) et transformation d'une substance en une autre. Tous les futurs enseignants connaissaient bien cet enchaînement des sujets. Ils devaient supposer qu'ils disposeraient du matériel correspondant qu'on trouve dans une classe de chimie ou un laboratoire et n'avaient pas le droit d'utiliser de manuels pendant l'élaboration de leur projet de séance.

... répondre à
un questionnaire
et participer
à un entretien

Après avoir rédigé ce projet, chaque futur enseignant devait remplir un questionnaire constitué uniquement de questions ouvertes. Ces questions concernaient principalement leurs attentes par rapport aux représentations préexistantes des élèves sur la combustion, les raisons qui leur avaient fait choisir les expériences qu'ils proposaient et la réflexion qui avait soutenu leur approche pédagogique. Enfin, lors d'un entretien, on a demandé à chaque futur enseignant d'explicitier la séance qu'il avait préparée ainsi que ses réponses au questionnaire. Ils pouvaient également faire part des difficultés conceptionnelles qu'ils s'attendaient à trouver chez les élèves ainsi que des difficultés relatives à l'enseignement de la combustion qu'ils s'attendaient à rencontrer eux-mêmes. Tous ces entretiens ont été enregistrés.

L'analyse des projets de séance, des réponses au questionnaire ainsi que de celles suscitées lors de l'entretien a été élaborée au moyen des catégories suivantes (voir aussi § 3) : connaissance des approches pédagogiques appropriées, connaissance des aspects conceptuels du sujet traité, connaissance des représentations préexistantes chez les

ces données
analysées
en fonction
des quatre
catégories de
connaissances

élèves, connaissance des moyens et de l'intérêt des évaluations liées à l'enseignement de la combustion. Les enregistrements des réponses des enseignants n'ont été transcrits en protocoles que lorsqu'ils pouvaient rentrer dans cette classification. Dans tous les autres cas, on a pris un grand nombre de notes pour étoffer les informations sur le contexte. Les résultats d'analyse des données provenant des trois sources d'information (projets de séance, questionnaires, entretiens) ont été comparés afin de confirmer autant que possible les résultats de chaque analyse (mode de triangulation des données).

6. CONNAISSANCES DES (FUTURS) ENSEIGNANTS CONCERNANT L'ENSEIGNEMENT DE LA COMBUSTION

6.1. Connaissance de l'approche pédagogique appropriée

structure plus ou
moins identique
des projets

Les futurs enseignants ainsi que les professeurs confirmés ont présenté leur projet de séance. Ces projets semblent adopter une structure plus ou moins identique qui peut être décrite comme suit. D'abord on instaure une discussion générale dans la classe où les élèves peuvent parler des substances qu'ils ont eux-mêmes vu brûler et où on passe rapidement en revue quelques représentations préexistantes adaptées à la situation. Ensuite on se consacre à la réalisation d'expériences concernant les caractéristiques de la combustion. Enfin on conclut par une dernière discussion générale et des exercices d'application dont certains sont faits en classe et d'autres donnés à faire à la maison.

L'analyse des séances proposées est aussi centrée sur les parties du projet qui concernent les expériences à réaliser en classe. On a observé quel profit les élèves pouvaient, en tant qu'apprenants, tirer des expériences, et, d'après ce critère, les projets de séance ont été regroupés en deux catégories (tableau 1).

concernant
les expériences,
deux types
d'intentions
pédagogiques

- La première catégorie rassemble les intentions pédagogiques liées aux expériences qu'on appellera "intentions de transmission". On retrouve cette tendance chez une majorité des futurs enseignants et une minorité de professeurs confirmés. La caractéristique principale est la suivante. Le professeur expose aux élèves les principaux concepts relatifs à la combustion en expliquant les expériences à faire en classe. Ensuite il réalise les expériences en question, il les commente et en fournit les interprétations. Les expériences, selon ce type d'intention pédagogique, sont envisagées comme illustration des caractéristiques de la combustion que l'on donne. Les expériences proposées par les futurs enseignants sont à peu près les mêmes que celles des pro-

fesseurs confirmés. La plupart consistent à faire brûler un ou deux objets tels qu'un morceau de bois, de papier, de carbone, de magnésium, de laine de fer, de l'alcool ou une bougie. Quelques expériences portent sur la combustion d'un morceau de bois ou de phosphore à l'intérieur d'un récipient clos.

l'intention
de transmission
domine chez
les futurs
enseignants

Cette "intention de transmission" des expériences à réaliser en classe va de pair avec l'idée que le professeur agit comme une personne qui transmet le savoir et les compétences aux élèves. Non seulement elle est perceptible dans les grandes lignes des projets de séance, mais elle est aussi formulée par les (futurs) enseignants eux-mêmes. Voici quelques exemples représentatifs de ce qu'ils ont avancé :

"Le travail de l'enseignant est de réaliser des expériences démonstratives et de les expliquer aux élèves en mettant en relation observation et théorie. Il peut expliquer que (...) de nouvelles substances se sont formées pendant la combustion. Le professeur répond aux questions des élèves ou bien il répercute ces questions à l'ensemble de la classe."

"Il faut partir du savoir existant chez les élèves. En utilisant une succession graduée de démarches explicatives, on peut atteindre le niveau de connaissance requis d'après le manuel. Il faut avoir recours à des expériences réalisées en classe, de préférence nombreuses, dans un but d'éclaircissement..."

Tableau 1. Les deux sortes d'intentions pédagogiques qui sous-tendent les expériences à réaliser en classe

Intentions émises	Nombres d'enseignants	
	futurs (n = 7)	confirmés (n = 7)
Intentions de "transmission"		
le professeur énonce les caractéristiques de la combustion	4	2
le professeur réalise en classe les expériences appropriées	4	2
le professeur décrit les observations	4	2
le professeur interprète les observations	4	2
Intentions de "découverte guidée"		
le professeur réalise en classe les expériences adéquates	2	2
le professeur fait réaliser les expériences par des élèves	1	3
le professeur décrit les observations	3	5
le professeur demande aux élèves d'interpréter les observations	3	5
le professeur discute des caractéristiques de la combustion	3	5

- La seconde catégorie correspond à une intention pédagogique relative aux expériences réalisées en classe que l'on a qualifiée de "découverte guidée". Cette intention se retrouve chez une minorité de futurs enseignants et une majorité de professeurs confirmés. Sa caractéristique principale est la suivante : le professeur réalise les expériences nécessaires ou les fait réaliser par des élèves eux-mêmes ; puis l'enseignant décrit les observations mais il demande aux élèves de les interpréter ; enfin il discute avec eux des principaux

concepts concernant la combustion. Les expériences, selon cette intention pédagogique, ont comme rôle d'orienter le cheminement des élèves vers le sujet traité. À nouveau les expériences proposées par les futurs enseignants diffèrent peu de celles des professeurs confirmés et correspondent en gros aux expériences traitées par le groupe intention de "transmission".

l'intention de découverte guidée domine chez les enseignants confirmés

L'intention de "découverte guidée" est liée à l'idée que le professeur est une personne qui non seulement transmet son savoir et ses compétences mais veille également à ce que les élèves bénéficient d'un rôle d'apprenant actif. Elle est non seulement décelable à travers les projets de cours mais également formulée par les (futurs) enseignants eux-mêmes. Voici un exemple :

"A mon avis, les élèves doivent raisonner avec moi et être influencés par les expériences démonstratives. Si je leur dis que 20 % du volume de gaz a disparu après avoir fait brûler un morceau de phosphore dans un récipient clos, j'attends de leur part un bon raisonnement : le volume d'oxygène est dans l'air et son volume est de 20 %, donc l'oxygène rend la combustion possible. Ce que j'essaie de faire, c'est de ne pas suggérer l'idée que l'oxygène est nécessaire. À mon avis, c'est plus motivant lorsqu'ils le découvrent tout seuls à travers les expériences que je fais pour le démontrer."

6.2. Connaissance du sujet du programme

trois types d'objectifs de connaissance

Les futurs enseignants et les professeurs confirmés ont fait part d'objectifs d'enseignement visant un gain de connaissance de la combustion qui comporte plusieurs aspects conceptuels. Leurs descriptions ont été classées en trois catégories.

conditions nécessaires à la combustion

- La première catégorie dont il faut parler concerne les conditions nécessaires à la combustion. Tous les futurs enseignants mentionnent la nécessité d'avoir à la fois une substance combustible et de l'oxygène. Trois d'entre eux mentionnent également la nécessité d'avoir une température supérieure à la température de début de combustion. Tous les professeurs confirmés mentionnent, eux, la nécessité de ces trois conditions.

définition de la combustion

- La deuxième catégorie concerne la définition de la combustion à retenir (voir tableau 2). Une majorité de futurs enseignants préfère utiliser la description suivante : la combustion est la transformation d'une substance par le biais de l'oxygène, tandis qu'une minorité préfère utiliser une description plus spécifique : transformation de substance associée au phénomène "flamme". Les futurs enseignants qui préfèrent la définition générale soulignent le fait qu'ils veulent la rapprocher de séances de biologie précédentes. Selon eux, lors de ces séances, la transformation (sans flamme) de la nourriture dans le corps humain est aussi définie comme un processus de combustion. L'argument avancé par les futurs enseignants en faveur de la définition spécifique est

la volonté de tenir compte des représentations habituelles qu'ont les élèves de la combustion. La préférence des professeurs confirmés est à l'opposé : une petite majorité veut utiliser seulement la définition spécifique. Dans les deux cas ils avancent les mêmes arguments que les futurs enseignants.

Tableau 2. Définitions du concept de la combustion émises par les participants

Définitions émises	Nombres d'enseignants	
	futurs (n = 7)	confirmés (n = 7)
Définition générale Transformation d'une substance par le biais de l'oxygène	5	3
Définition spécifique Transformation d'une substance par le biais de l'oxygène associé au phénomène "flamme"	2	4

ses implications
en sciences,
technologie
et société

- La dernière catégorie concerne les implications de la combustion sur sciences, technologie et société. L'un des futurs enseignants ainsi que quatre des professeurs confirmés (la majorité) veulent prendre en compte la détermination de la quantité d'oxygène (volume 20 %) dans l'air. Un autre des futurs enseignants mentionne le moteur à combustion interne et la cuisson des aliments, tandis que le reste des futurs enseignants ne prennent pas du tout en compte les implications. Tous les professeurs confirmés évoquent, eux, au moins deux des implications concernant sciences, technologie et société. Ces implications couvrent un grand nombre de thèmes allant de la pollution de l'air, au travail des pompiers en passant par l'épuisement des réserves de charbon, de pétrole ou de gaz sur toute la planète.

6.3. Connaissance des représentations préexistantes des élèves

Les représentations préexistantes des élèves auxquelles s'attendent les futurs enseignants et les professeurs confirmés sont classées selon les quatre mêmes catégories que l'on a déjà utilisées pour répertorier les conceptions d'élèves rapportées dans les articles de recherche parus déjà cités (voir § 2). Ces prévisions des professeurs ainsi classées sont données dans le tableau 3. Ce tableau mentionne seulement les représentations prévues par au moins deux enseignants. On a effectué une distinction entre les représentations préexistantes prévisibles qui sont susceptibles de faciliter la compréhension et celles qui peuvent au contraire créer des difficultés conceptuelles de compréhension.

Si on compare les futurs enseignants et les professeurs confirmés, on peut distinguer des correspondances ainsi

suivant les aspects de la combustion considérés, les prévisions des deux groupes d'enseignants sont proches ou divergentes

que des différences. Les connaissances des futurs enseignants sont à peu près les mêmes que chez les professeurs confirmés en ce qui concerne leurs prévisions des représentations préexistantes qu'auraient les élèves par rapport aux phénomènes de lumière et de chaleur, aux transformations de substances et aux effets quantitatifs.

Cependant il y a une différence importante en ce qui concerne les représentations des élèves quant aux conditions nécessaires à la combustion. Tous les professeurs confirmés s'attendent à ce que les élèves sachent que l'oxygène rend la combustion possible alors qu'une (petite) majorité de futurs enseignants s'attend à ce que les élèves pensent que l'oxygène n'intervient pas sur la combustion. Les professeurs confirmés justifient leurs prévisions en insistant sur le fait que les élèves ont acquis ce savoir parce qu'ils l'ont appris antérieurement en biologie ou à travers des émissions de télévision. Les futurs enseignants, quant à eux, justifient leur position en disant que les élèves ont peu de chance de faire attention à l'oxygène car c'est une substance gazeuse invisible.

Tableau 3. Prévisions de professeurs au sujet des représentations préexistantes des élèves concernant la combustion

Représentations préexistantes prévues par les enseignants	Nombres d'enseignants	
	futurs (n = 7)	confirmés (n = 7)
Phénomènes de lumière et de chaleur		
(+) les flammes en tant que phénomène marquant	6	5
(+) quand des substances brûlent, cela produit de la chaleur	4	3
(-) l'incandescence est une caractéristique insuffisante	0	2
(-) une bougie qui se consume est un processus endothermique	0	2
Conditions nécessaires à la combustion		
(+) il est nécessaire d'avoir à faire à des substances combustibles	7	7
(+) l'oxygène rend la combustion possible	2	7
(+) une température minimum est nécessaire	2	4
(-) une température minimum n'est pas nécessaire	2	3
(-) l'oxygène ne rend pas la combustion possible	4	0
Transformations de substances		
(+) la combustion est une transformation de substances	2	4
(+) il y a production de résidus solides noirs ou de cendres	3	2
(+) il y a production de gaz	0	2
(-) aucune nouvelle substance ne se forme pendant de combustion	3	3
Effets quantitatifs		
(-) quand un morceau de métal brûle, sa masse diminue	1	2

(+) : facilitant la compréhension conceptuelle

(-) : difficultés prévisibles à la compréhension

Les projets de séance des futurs enseignants qui mentionnent les difficultés conceptuelles des élèves ont été analysés pour voir s'ils suggèrent des expériences à réaliser en classe

qui tiennent compte de ces difficultés. Les résultats de cette analyse sont les suivants : trois sur quatre des futurs enseignants qui croyaient que les élèves pensaient que l'oxygène ne rendait pas la combustion possible n'ont pas proposé d'expériences adaptées à ce problème. Parmi les trois futurs enseignants qui s'attendaient à ce que les élèves pensent qu'aucune nouvelle substance ne se formait lors de la combustion, deux n'ont pas proposé d'expériences portant spécialement sur cette difficulté conceptuelle des élèves. Bien que deux futurs enseignants aient prévu que les élèves penseraient qu'une température minimum n'était pas nécessaire à la combustion, ils ont projeté des expériences qui ne tenaient pas compte de ces difficultés. Seul le futur enseignant qui avait prévu l'idée d'une perte de masse de magnésium qui brûle, a proposé une expérience destinée à clarifier le problème des changements de masse de ce métal lorsqu'il brûle. Pour récapituler, bien que tous les futurs enseignants aient fait part d'au moins une difficulté conceptuelle des élèves, la majorité n'a pas pris en compte toutes ces difficultés prévues dans les expériences qu'ils se proposent de faire en classe.

les projets de séances tiennent-ils compte des difficultés prévues ?

D'autre part, presque tous les professeurs confirmés qui avaient évoqué des difficultés conceptuelles prévisibles semblent avoir planifié des expériences qui prennent ces difficultés en compte. En proposant ces expériences, ils voulaient faire remarquer le rôle de la température de début de combustion, la formation de nouvelles substances, le changement de masse et la présence d'effets dus à la chaleur.

6. 4. Connaissance des méthodes d'évaluation adéquates

Les futurs enseignants ainsi que les professeurs confirmés ont affirmé ne pas souhaiter soumettre leurs élèves à un test de contrôle formel et écrit pour évaluer l'aboutissement de leurs acquisitions suite à une séance unique. Selon eux, ce genre d'évaluation présente peu d'intérêt. Ils souhaitent plutôt évaluer les acquisitions des élèves de plusieurs autres manières. L'une d'elles consiste à poser des questions orales aux élèves en cours ou en fin de séance. Une autre manière est de poser des questions orales et écrites au début de la séance suivante. Une troisième possibilité évoquée consiste à encourager les élèves à résoudre des problèmes de leur manuel et d'en discuter les solutions lors de cette séance ou de la suivante.

pas de contrôle formel écrit

mais une évaluation multiforme et répartie dans le temps

Selon la plupart des futurs enseignants, leurs questions porteront surtout sur les conditions nécessaires à la combustion. En outre ils établiront un rapport entre leurs questions et les expériences, et particulièrement les interprétations des phénomènes observés. Quelques professeurs (un futur enseignant et deux professeurs confirmés)

veulent également évaluer des rapports écrits rédigés par les élèves qui ont réalisé eux-mêmes des expériences en classe.

7. PRÉOCCUPATIONS DES ENSEIGNANTS CONFRONTÉS À L'ENSEIGNEMENT DE LA COMBUSTION

Tous les (futurs) enseignants prévoient de rencontrer plusieurs problèmes. Ceux-ci sont passés en revue dans le tableau 4.

Tableau 4. Préoccupations émises par les enseignants confrontés à l'enseignement de la combustion

Difficultés prévues par les futurs enseignants	(n = 7)
Manquer de connaissances suffisantes pour donner des explications appropriées	5
Avoir une connaissance trop limitée des expériences appropriées à faire en classe	4
Ne pas être capable de réaliser un projet de cours assez motivant	4
“Rater” les expériences à faire en classe	3
Ne pas bien guider les discussions générales	3
Ne pas avoir des conceptions assez claires sur les significations scientifiques de la combustion	2
Ne pas arriver à gérer correctement la durée de la séance	1
Difficultés prévues par les professeurs confirmés	(n = 7)
Que les élèves ne soient pas capables d'interpréter suffisamment les observations	4
Que les élèves comprennent mal la température de début de combustion	3
Que les explications données au sujet de la combustion ne semblent pas assez claires aux élèves	2
Ne pas trouver assez de problèmes motivants à soumettre aux élèves	2

origines des
difficultés
prévues...

Dans le cas des futurs enseignants, les difficultés dont ils parlent renvoient à plusieurs formes de connaissances de la part de l'enseignant. En ce qui concerne les connaissances relatives au contenu pédagogique, la difficulté la plus souvent évoquée porte sur un manque de connaissance des explications à donner par rapport à la combustion. Par exemple, les futurs enseignants disent ne pas bien connaître les descriptions relatives aux caractéristiques de la combustion ou les interprétations des observations pouvant être faites à partir des expériences. Une autre difficulté majeure concerne le manque de connaissances relatives aux expériences à faire. Par exemple, les futurs enseignants souhaitent connaître des expériences susceptibles de faire correspondre la théorie avec les phénomènes observés, ou bien connaître des expériences qui ne comporteraient aucun risque d'échec.

... plus variées
chez les futurs
enseignants...

En ce qui concerne les connaissances pédagogiques générales, la difficulté qui revient le plus souvent est le fait de ne pas savoir assez bien mettre au point des cours motivants, c'est-à-dire des cours qui ne soient pas seulement intéressants pour les élèves, mais aussi compréhensibles, variés et pas trop chargés. Autre difficulté majeure : ne pas savoir assez bien guider une discussion de groupe. Ainsi, des futurs enseignants avouent s'attendre à avoir du mal à répondre à certaines questions des élèves auxquelles ils n'auraient pas été préparés. En ce qui concerne la connaissance du contenu, on mentionne des conceptions peu claires des significations scientifiques de la combustion et des concepts qui s'y rattachent.

... que chez
les professeurs
confirmés

Dans le cas des professeurs confirmés, toutes les difficultés mentionnées concernent les connaissances du contenu pédagogique. Les deux difficultés majeures portent sur le fait qu'ils craignent que les élèves ne soient pas suffisamment à même d'interpréter les observations et de comprendre l'importance de la température de début de combustion.

Enfin on peut remarquer que la plupart des futurs enseignants indiquent que le projet de cette séance les a (ré) incités à réfléchir aux significations scientifiques de la combustion et aux façons d'aborder son enseignement. Les futurs enseignants précisent également qu'ils avaient oublié la plupart des expériences utilisées lorsqu'ils étaient eux-mêmes élèves du secondaire.

8. DISCUSSION DES RÉSULTATS

Cette recherche éclaire un certain nombre de caractéristiques intéressantes concernant la façon dont les futurs enseignants et les professeurs confirmés envisagent l'enseignement de la combustion. En comparant les résultats de deux groupes d'enseignants, il est possible de cerner les différences de points de vue dans chaque groupe, ce qui ne va pas cependant sans difficultés dans la mesure où beaucoup des différences entre les deux groupes sont à peu près aussi importantes que les différences observées à l'intérieur d'un même groupe. Certaines de ces différences sont toutefois éloquentes.

définition
de la combustion
différente suivant
le groupe
d'enseignants

- D'abord, les descriptions conceptuelles qu'ils veulent enseigner. La majorité des futurs enseignants souhaite proposer une définition qui englobe aussi le processus (sans flamme) de la combustion des aliments dans le corps humain. Cette définition générale peut être considérée comme la description standard du concept d'oxydation (voir par exemple Parker, 1989, p. 1350). En majorité les professeurs confirmés préfèrent, eux, utiliser une définition spécifique, incluant la nécessité d'avoir un phénomène "feu", qui

correspond aux descriptions que l'on trouve dans les manuels courants. Les professeurs confirmés disent préférer ce genre de définition parce qu'ils souhaitent tenir compte des représentations habituelles qu'ont les élèves de substances qui brûlent.

les "futurs"
plus centrés
sur le sujet,
les "confirmés"
sur l'apprenant

Pour conclure, la plupart des futurs enseignants se proposent de partir d'une signification scientifique de la combustion alors que la plupart des professeurs confirmés préfèrent développer cette signification en donnant aux élèves une description davantage basée sur leur expérience quotidienne. Autrement dit, ce résultat suggère le fait que les futurs enseignants sont en quelque sorte plus centrés sur le sujet lui-même, tandis que les professeurs confirmés sont plus centrés sur l'apprenant.

- Un deuxième point intéressant concerne les différences des connaissances relatives aux représentations préexistantes chez les élèves et les différences de points de vue concernant les expériences de clarification à faire en classe.

des différences
aussi sur
la connaissance
des
représentations
des élèves et sur
le recours aux
expériences pour
les faire évoluer

La première différence majeure entre futurs enseignants et professeurs confirmés concerne ce qu'ils attendent de leurs élèves comme représentations préexistantes sur le rôle de l'oxygène. Une majorité de futurs enseignants suppose que les élèves pensent que l'oxygène n'intervient pas dans la combustion. Au contraire, tous les professeurs confirmés pensent qu'ils savent que l'oxygène rend la combustion possible. Les professeurs confirmés justifient leur position en signalant que les élèves ont acquis les connaissances en question lors de leurs précédents cours en biologie ou par le biais d'émissions télévisées. Les futurs enseignants ne sont pas conscients de l'effet possible que peut avoir l'environnement d'apprentissage sur leurs élèves.

La deuxième différence fondamentale concerne la façon dont ils envisagent les expériences réalisées en classe dans un but de clarification. Les résultats montrent que la plupart des futurs enseignants ne sont pas très convaincus de l'importance de mettre en œuvre des expériences destinées spécialement à éclaircir les difficultés conceptuelles des élèves. Les résultats démontrent aussi que presque tous les professeurs confirmés souhaitent mettre en place des expériences qui tiennent vraiment compte de ces difficultés prévisibles. En conclusion, tous ces résultats montrent bien que la conception d'un projet de séance centré sur l'apprenant semble beaucoup moins évidente aux futurs enseignants qu'aux professeurs confirmés.

- Un troisième point intéressant concerne les différences des problèmes qui préoccupent les professeurs confrontés à l'enseignement de la combustion. Les préoccupations peuvent être interprétées selon le schéma des préoccupations de l'enseignant mis au point par Fuller et Bown (1975) (voir aussi § 1). Les résultats montrent que les futurs enseignants peuvent être classés en deux catégories : ceux qui sont centrés sur eux-mêmes et ceux qui sont centrés sur la

les
préoccupations
des futurs
enseignants sont
plus orientées
vers eux-mêmes
que vers la tâche

tâche. Les difficultés rencontrées par l'enseignant centré sur lui-même comprennent le fait de ne pas savoir assez bien donner les explications requises, mener à bien les expériences appropriées, créer un projet de séance motivant, et de ne pas posséder des conceptions assez claires des significations scientifiques de la combustion. Quant au professeur qui est centré sur la tâche, il rencontre les difficultés suivantes : il craint de ne pas savoir bien guider une discussion de groupe et de ne pas gérer correctement la durée du cours. Si l'on tient compte du nombre de fois où une difficulté spécifique a été citée, on voit que les difficultés rencontrées par les enseignants s'orientent davantage vers eux-mêmes que vers la tâche.

celles des
professeurs
confirmés, plus
orientées vers
l'apprenant
que vers la tâche

Les préoccupations mentionnées par les professeurs confirmés peuvent être classées en deux catégories : celles centrées sur la tâche et celles centrées sur l'apprenant. Les difficultés portant sur la tâche comprennent la crainte de ne pas fournir aux élèves des problèmes assez motivants. Les difficultés de l'enseignant centrées sur l'apprenant incluent la crainte que celui-ci ne comprenne pas suffisamment l'importance de la température de début de combustion. On constate que les difficultés qui préoccupent les professeurs confirmés sont plus centrées sur l'apprenant que sur les tâches, si on tient compte du nombre de fois qu'une difficulté spécifique est mentionnée.

En conclusion les résultats démontrent que les problèmes préoccupant les futurs enseignants sont plus centrés sur le doute de soi que sur une préoccupation relative à la tâche et en cela ils diffèrent des préoccupations des professeurs confirmés qui sont plus centrées sur l'apprenant que sur la tâche.

opposition entre
deux
conceptions :
transmission
ou découverte
guidée

- Un quatrième point d'intérêt porte sur les différentes façons d'envisager les projets de séances et le rôle de l'enseignant concerné. Les préférences de la majorité des futurs enseignants vont vers une conception de "transmission" tandis qu'une minorité penche pour un point de vue de "découverte guidée". Ainsi la majorité des futurs enseignants conçoit son projet de séance et son rôle d'enseignant d'un point de vue plutôt traditionnel, alors qu'une minorité conçoit ses cours et raisonne de façon plus proche de la "nouvelle norme". Les positions des professeurs confirmés semblent aller à l'inverse.

On peut également expliquer la prédominance de l'approche dite centrée sur soi-même chez les futurs enseignants et la prédominance dite centrée sur l'apprenant des professeurs confirmés, en observant les autres caractéristiques relevées relatives à la façon dont les (futurs) enseignants envisagent l'enseignement de la combustion. À cause de la prédominance du "doute de soi" chez les futurs enseignants, jointe à leur façon d'envisager l'enseignement de la combustion du point de vue de leur discipline, il se peut que les futurs enseignants aient un vif besoin de créer une situation d'en-

situations
d'enseignement
familières
préférées
par les uns...

... nouvelles,
par les autres

mais des
similitudes
existent entre
les deux groupes

les entretiens
donnent
le plus de
renseignements

seignement familière au sein de laquelle ils se sentent sécurisés par le fait d'être experts en chimie ; ceci est ressenti comme une base plus sûre que leur connaissance des apprenants. Le point de vue des professeurs confirmés concernant l'enseignement de la combustion semble davantage centré sur les élèves et pour cette raison même, il se peut que les professeurs confirmés se sentent assez sûrs d'eux pour créer de nouvelles situations d'enseignement dans lesquelles ils laissent aux élèves une plus grande liberté d'apprentissage personnel.

Enfin, on peut remarquer qu'il est également possible d'établir des similitudes entre les futurs enseignants et les professeurs confirmés. La principale de ces similitudes concerne les caractéristiques des cours qui s'inscrivent dans une tendance très répandue dans l'enseignement de la chimie aux Pays Bas. Par exemple la structure générale de la séance qui consiste en une discussion d'introduction dans la classe, suivie d'une série d'expériences, puis par une discussion de conclusion à la suite de laquelle on donne le travail à faire à la maison. Autre exemple, les substances à brûler choisies pour les expériences et la préférence donnée aux questions orales destinées à évaluer les acquisitions des élèves.

La nature de cette recherche est donc une exploration d'un domaine assez mal connu ; la façon dont des futurs enseignants et des professeurs confirmés envisagent l'enseignement d'un point particulier du programme de chimie : la combustion. La méthodologie de cette recherche est intéressante en elle-même. Bien que l'exercice qui consiste à élaborer un projet de séance fournisse l'information contextuelle sur laquelle est focalisée la recherche, ce sont bien les entretiens qui, davantage que les questions écrites, se révèlent les éléments les plus instructifs. Il est évident que la valeur des résultats est limitée par le fait que les idées et les préoccupations des professeurs n'aient été étudiées que dans le contexte d'une seule séance. À cause du nombre restreint des professeurs impliqués et de la brièveté du temps de préparation qui leur était accordé, on ne peut généraliser ces résultats de façon incontestable. Cependant, grâce à la variété des moyens utilisés (rédaction des projets, questionnaires, entretiens) il semble possible de relever un certain nombre de données intéressantes. C'est la raison pour laquelle il serait souhaitable d'entreprendre des recherches concernant les points de vue des enseignants sur des thèmes autres que la combustion.

9. IMPLICATIONS CONCERNANT LA FORMATION DES PROFESSEURS DE SCIENCES

dans la formation, consacrer plus de temps aux élaboratoires de projet de séance

Cette étude peut présenter des implications importantes pour la formation des professeurs de sciences, que ce soit dans le domaine de leur formation initiale ou continue. Une partie importante de cette formation devrait être consacrée à l'élaboration de projets de séance. Comme l'indique cette recherche, cette élaboration semble bien être un outil très utile aux enseignants pour susciter chez eux des réflexions personnelles concernant leur approche de tel ou tel sujet scientifique. La réflexion devrait être ciblée sur leurs propres connaissances des aspects conceptuels d'un sujet particulier du programme, sur les éventuelles représentations préexistantes des élèves, sur les difficultés prévisibles et sur les alternatives de projets de séance qui pourraient aussi être envisageables. Nous passerons rapidement en revue ces thèmes de réflexion.

prendre conscience de ses propres conceptions sur les concepts scientifiques et les faire évoluer

• **Amélioration des connaissances des enseignants en ce qui concerne les sujets scientifiques abordés à l'école**

La description des concepts scientifiques abordés à l'école varie selon les enseignants, même quand il s'agit d'un concept relativement simple comme la combustion. Les enseignants devraient donc être amenés à réfléchir sur leurs propres conceptions des sujets du programme, tout particulièrement dans le cas de sujets qui présentent des difficultés de compréhension pour l'enseignant lui-même. Pour les y aider, on pourrait les faire travailler en petits groupes, comparer et analyser les descriptions de concepts scientifiques dans les manuels scolaires et universitaires. Les résultats de ces comparaisons pourraient être discutés entre collègues afin de développer chez les enseignants des conceptions plus solidement fondées.

connaître l'importance des représentations des élèves...

• **Amélioration des connaissances des enseignants sur les représentations préexistantes des élèves par rapport à des sujets scientifiques**

Il est important que l'enseignant prenne en considération les conceptions avant enseignement que peuvent avoir les élèves quand il élabore son cours. Pour cela, la première étape est une connaissance solide du penser de l'apprenant. Pour aider les enseignants à acquérir et élargir cette connaissance, on pourrait leur conseiller de lire et discuter des articles issus de recherches sur les représentations préexistantes les plus courantes chez les élèves. Ils pourraient alors utiliser les résultats pour élaborer des questions destinées aux apprenants. Une partie de ces questions pourrait servir à pré-tester les connaissances des élèves sur un sujet donné. D'autres pourraient s'ajouter aux tâches à effectuer en relation avec les expériences faites en classe. Ces questions devraient avoir pour but d'éclaircir des difficultés conceptuelles des élèves, ce qui implique que leurs réponses soient impérativement discutées en classe.

... et savoir les recueillir

s'entraîner
à surmonter
les difficultés

• **Amélioration des connaissances des enseignants sur les difficultés liées à l'enseignement des sujets scientifiques**

Pendant l'élaboration d'un projet de séance il est important que les enseignants focalisent leur attention sur les difficultés prévisibles qu'ils vont rencontrer en enseignant des thèmes scientifiques. Dans ce cas, ils peuvent en effet trouver des façons d'éviter que ces difficultés apparaissent. Pour aider les futurs enseignants à moins douter d'eux-mêmes, ils pourraient être invités à prendre part à des situations d'enseignement simulées incluant discussions de groupe à guider, réalisation d'expériences en classe etc. Pour aider les professeurs confirmés à avoir moins de préoccupations dues à leur centration sur l'apprenant, ils pourraient être invités à évaluer leurs cours en rédigeant les expériences principales et en discutant leurs notes ensuite avec des collègues.

• **Amélioration des connaissances des enseignants sur des alternatives des projets de séance concernant des sujets scientifiques**

Les enseignants devraient porter davantage attention à leurs propres conceptions des projets de séance. Pour les aider à y réfléchir, on pourrait leur demander de rédiger un projet de séance et de le discuter ensuite avec les collègues. Lorsqu'il s'agit de formation professionnelle initiale, on pourrait élargir la discussion en proposant aux futurs enseignants un projet de séance émanant d'un professeur confirmé et leur demander de faire une étude comparative. Lorsqu'il s'agit au contraire de formation continue, on pourrait soumettre à un professeur confirmé le projet d'un futur enseignant. Dans les deux cas, les (futurs) enseignants auraient ainsi l'occasion de développer des idées nouvelles à propos de l'élaboration d'un projet. Pour y parvenir, il est également important de commencer avec des sujets du programme faciles à comprendre et à enseigner. Autrement, il n'y aurait pas grand intérêt à chercher des projets différents, comme par exemple axés sur l'intention dite de "découverte guidée".

améliorer ses
conceptions
de projet de
séance à travers
des études
comparatives

Ces quatre lignes directrices peuvent être utiles pour une formation professionnelle initiale ou continue de l'enseignant de sciences basée sur le constructivisme et comprenant l'élaboration de cours non seulement sur le sujet de la combustion mais aussi sur un vaste échantillonnage de sujets variés. Les parties du programme qui traitent de l'élaboration de projets pourraient être structurées en quatre étapes suggérées ci-dessous.

pour une
formation
de l'enseignant
scientifique
basée sur le
constructivisme
et s'articulant
sur des projets
de cours

1. Discussions sur les propositions de projets
2. Réflexions sur les propres connaissances de l'enseignant relatives au contenu pédagogique
3. Intentions motivant le recours à des activités d'apprentissage spécifiques
4. Expériences personnelles relatives à l'enseignement des thèmes spécifiques

Les expériences acquises par les formés pourraient être utilisées dans le contexte de l'élaboration de nouveaux projets de séance, qui pourraient susciter de nouvelles réflexions sur leurs propres connaissances de l'enseignement, et également de nouveaux objectifs d'apprentissage et ainsi de suite. Ce processus implique que la structure de la partie de la formation concernée soit envisagée sous forme de cycles répétés (spirale). En suivant une formation qui comprendrait ce genre d'activités cycliques, les professeurs de sciences pourraient améliorer leurs connaissances du contenu pédagogique, contribuer à rendre leurs préoccupations professionnelles moins aiguës et devenir plus compétents quant à l'élaboration de leur projet de séance.

Afin de confirmer ces hypothèses, il faudrait continuer à effectuer des recherches dans le domaine des connaissances des professeurs de sciences comme par exemple étudier les pratiques des futurs enseignants en relation avec leurs conceptions. Cette double approche est un outil précieux pour faire évoluer avec profit la formation actuelle de professeurs de sciences (de Jong et al., 1995).

Onrio de JONG
CSME, département d'enseignement
de la chimie,
Université d'Utrecht

BIBLIOGRAPHIE

- ABRAHAM, M. R., WILLIAMSON, V. M. & WESTBROOK, S. L. (1994). "A cross-age study of the understanding of five chemistry concepts". *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 147-165.
- ANDERSON, R. D. & MITCHENER, C. P. (1994). "Research on science teacher education". In D. L., Gabel, (Ed.). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (pp. 3-44). New York : MacMillan.
- BOUJAOUDE, S. B. (1991). "A study of the nature of students' understanding about the concept of burning". *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 689-704.
- BROMME, R. (1987). "Teachers' assessments of students' difficulties and progress in understanding in the classroom". In J., Calderhead, (Ed.). *Exploring Teachers' Thinking* (pp. 125-146). London : Cassell.
- BROMME, R. & BROPHY J. (1986). "Teachers' cognitive activities". In B., Christiansen, A. G., Howson & M., Otte, (Eds.). *Perspectives in Mathematics Education* (pp. 99-139). Reidel : Dordrecht.
- CECCO, J. P. de (1968). *The Psychology of Learning and Instruction : Educational Psychology*. Englewood Cliffs : Prentice Hall.

- CLARK, C. M. & PETERSON, P. L. (1986). "Teachers' thought processes". In M. C., Witrock, (Ed.). *Handbook of Research on Teaching* (3rd ed.) (pp. 255-295). New York : Macmillan.
- DONNELLY, J. F. & WELFORD, A. G. (1988). "Children's performance in chemistry". *Education in Chemistry*, 25, 7-10.
- DRIVER, R. (1994). "Children's ideas about materials". In R., Driver, A., Squires, P., Rushworth & V., Wood-Robinson. *Making Sense of Secondary Science : Research into Children's Ideas* (pp. 87-88). London : Routledge.
- FULLER, F. F. & BOWN, O. H. (1975). "Becoming a teacher". In K., Ryan, (Ed.). *Teacher Education : the 47 th Yearbook of the NSSE, Part II* (pp. 25-52). Chicago : Rand McNally.
- GRIFFITHS, A. K. (1994). "A critical analysis and synthesis of research on students' chemistry misconceptions". In H. J., Schmidt, (Ed.). *Problem Solving and Misconceptions in Chemistry and Physics* (pp. 70-99). Hong Kong : ICASE.
- HAUPT, P. (1984). *Verbrennungs und Oxidationsvorgänge im Verständnis von Schülern*. Köln : Aulis.
- HESSE, J. J. & ANDERSON, C. W. (1992). "Students' conceptions of chemical change". *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 277-299.
- HEWSON, P. W. & THORLEY, R. (1989). "The conditions of conceptual change in the classroom". *International Journal of Science Education*, 14, 65-78.
- HUIBREGTSE, I., KORTHAGEN, F. A. J. & WUBBELS, T. (1994). "Physics teachers' conceptions of learning, teaching and professional development". *International Journal of Science Education*, 16, 539-561.
- JONG, O. de, ACAMPO, J. & VERDONK, A.H. (1995). "Problems in teaching the topic of redox reactions : actions and conceptions of chemistry teachers". *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 1097-1110.
- LANTZ, O & KASS, H. (1987). "Chemistry teachers' functional paradigms". *Science Education*, 71, 117-134.
- MÉHEUT, M., SALTIEL, E. & TIBERGHIE, A. (1985). "Pupils' (11-12 year olds) conceptions of combustion". *European Journal of Science Education*, 7, 83-93.
- PARKER, S. P. (1989). *McGraw-Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms*. New York : McGraw-Hill.
- PFUNDT, H. (1982). "Vorunterrichtliche Vorstellungen von stofflicher Veränderung". *Chimica Didactica*, 8, 161-180.

SHULMAN, L.S. (1987). "Knowledge and teaching : foundations of the new reform". *Harvard Educational Review*, 57, 1-22.

SUMFLETH, E. & TODTENHAUPT, S. (1995). "Learning processes in chemistry, an interaction of students' preconceptions and chemical contents". In O., de Jong, P.H., van Roon & W., de Vos, (Eds.). *Perspectives on Research in Chemical Education* (pp. 117-127). Utrecht : CDB-Press.

TAMIR, P. (1988). "Subject matter and related pedagogical knowledge in teacher education". *Teaching and Teacher Education*, 4, 99-110.

VOS, W. de & VERDONK, A. H. (1986). "A new road to reactions". *Journal of Chemical Education*, 63, 972-974.

WATSON, R., PRIETO, T. & DILLON, J. S. (1995). "The effect of practical work on students' understanding of combustion". *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 487-502.

WATSON, R., PRIETO, T. & DILLON, J. S. (1997). "Consistency of students' explanations about combustion". *Science Education*, 81, 425-443.

WUBBELS, T. (1992). "Teacher education and the universities in the Netherlands". *European Journal of Teacher Education*, 15, 157-172.

LES OBSTACLES À LA FORMATION PROFESSIONNELLE DES PROFESSEURS EN RAPPORT AVEC LEURS IDÉES SUR LA SCIENCE, L'ENSEIGNEMENT ET L'APPRENTISSAGE

Rafael Porlán Ariza
Eduardo García García
Ana Rivero García
Rosa Martín del Pozo

Les croyances du corps enseignant sur la nature des connaissances en général et, en particulier, sur les connaissances scientifiques ont un rapport direct avec la façon de comprendre et d'enseigner les sciences. Elles constituent fréquemment de véritables obstacles à la formation professionnelle des professeurs et à une réelle amélioration des processus d'enseignement-apprentissage.

Dans cette optique, nous mettons d'abord en évidence la diversité des conceptions scientifiques et didactiques des professeurs détectées par un certain nombre d'études. Sur la base de nos propres résultats, nous proposons différents niveaux de formulation des connaissances professionnelles dans le but d'orienter le processus de formation ; nous précisons les obstacles associés aux conceptions, les plus fréquentes parmi les professeurs et qui, pour nous formateurs, constituent les axes de notre intervention ; et pour conclure nous ne ferons que citer quelques implications de ce qui précède dans la formation du corps enseignant.

connaître
les conceptions
des professeurs
sur la science

Les croyances du corps enseignant sur la nature des connaissances en général et, en particulier, sur les connaissances scientifiques ont un rapport direct avec la façon de comprendre et d'enseigner les sciences. Elles constituent fréquemment de véritables obstacles au développement professionnel des professeurs et à une réelle amélioration des processus d'enseignement-apprentissage. C'est précisément pour cette raison qu'elles doivent être prises en compte lorsque sont redéfinis les contenus et les stratégies de formation des enseignants(1).

(1) Cette publication est le résultat partiel du projet PB94-1449 financé par la DGICYT. Ses auteurs sont membres de l'équipe du projet sur le cursus scolaire IRES (Recherche et Renovation Scolaire). Ils proposent ici une version modifiée, de l'article publié dans la revue *Enseñanza de las Ciencias* (volume 16, n° 2, 1998).

préalable
nécessaire
à la formation

Dans le cadre du projet sur le cursus scolaire, nous avons orienté une partie importante de notre recherche sur le contenu des conceptions des professeurs quant à la science, l'enseignement et l'apprentissage. Pour nous, il s'agissait d'une information absolument nécessaire pour fonder toute intervention sur la formation (initiale et continue) des professeurs. Les études réalisées, dont les résultats seront traités plus loin, sont basées sur trois constats.

trois constats
les concernant

1. Les conceptions des professeurs (ou si l'on préfère, le savoir professionnel "de fait") relatives aux connaissances scolaires influent fortement sur leur façon d'interpréter et d'agir dans l'enseignement.

2. Les connaissances professionnelles visées sont des connaissances épistémologiquement différenciées qui résultent d'une élaboration et de l'intégration de différents savoirs et qui peuvent être conçues comme un *réseau d'idées en évolution* permettant une gradation du plus simple au plus complexe ainsi qu'une hypothèse de progression qui facilite cette évolution à partir des conceptions des professeurs.

3. Le savoir professionnel souhaité est un savoir "finalisé" dans la mesure où il englobe des attitudes déterminées et des valeurs qui participent à la transformation du contexte scolaire et professionnel.

En définitive, nous faisons référence aux perspectives constructivistes, complexes et critiques qui sont à la base de notre travail et qui ont déjà été présentées dans des publications antérieures (Grupo Investigación en la Escuela, 1991 ; Porlán et al., 1996).

de leur
diversité...

Dans cet article, nous mettrons d'abord en évidence la diversité des conceptions scientifiques et didactiques des professeurs, détectées par un certain nombre d'études ; ceci nous permettra de proposer, sur la base de nos propres résultats :

... à différents
niveaux
de formulation
des connaissances
professionnelles

- différents niveaux dans la formulation des connaissances professionnelles en tant que façon d'organiser la diversité des conceptions, dans le but d'orienter le processus de formation (précisons qu'il s'agit d'une hypothèse de progression qui admet différentes évolutions possibles et non d'"un parcours obligatoire") ;
- les obstacles associés aux conceptions les plus fréquentes parmi les professeurs et qui, pour nous formateurs, constituent les axes de notre intervention ;
- quelques implications pour la formation du corps enseignant que, par manque de place, nous ne ferons que citer.

1. LES ÉTUDES RELATIVES AUX CONCEPTIONS SCIENTIFIQUES ET DIDACTIQUES DES PROFESSEURS

Au cours des dernières années s'est manifesté un intérêt croissant pour la description et l'analyse du contenu des conceptions des professeurs et pas seulement pour l'étude de leur pensée en termes de processus et de structures (Porlán, 1995). Étant donné que nous nous intéressons également à ce contenu, nous avons différencié et sélectionné trois types d'études :

trois types
d'étude

- celles qui sont centrées sur les idées des professeurs relatives à la connaissance scientifique (nature, statut, rapport avec les autres connaissances, mode de production, changement, etc.) ;
- celles qui se réfèrent aux croyances didactiques qui incluent un large répertoire d'aspects en rapport avec l'enseignement et l'apprentissage en contexte scolaire ;
- celles qui tentent d'établir des liens entre les connaissances, leur construction et leur transmission en contexte scolaire, c'est-à-dire celles qui se rapprochent de l'*épistémologie du scolaire* des professeurs (Pope et Scott, 1983 ; Porlán, 1989).

concernant
les conceptions
de la science

1.1. En ce qui concerne les **conceptions de la science**, de nombreux auteurs (Pope et Gilbert, 1983 ; Gordon, 1984 ; Gil, 1991 ; Lederman, 1992 ; Koulaidis et Ogborn, 1995) insistent sur le fait que les professeurs transmettent une image déformée des connaissances et des travaux scientifiques qui n'a pas grand chose à voir avec les récents apports de l'épistémologie de la science. Ajoutons que cela ne se produit pas exclusivement en milieu scolaire.

image déformée

Dans la vérification réalisée par Lederman (1992) et également dans les nôtres les plus récentes (Martín, 1994b ; Porlán, 1995 ; Porlán et Martín, 1996) apparaît une tendance majoritaire parmi les professeurs et leurs étudiants, à savoir la vision positiviste (empirico-inductiviste) de la science. Cependant, l'une des conclusions de l'étude de Koulaidis et Ogborn (1989) est qu'il existe d'autres points de vue sur les connaissances scientifiques qui constituent une certaine évolution depuis cette image empirico-inductiviste jusqu'à des conceptions plus contextualisées. Comme nous le verrons par la suite, nos propres résultats sont du même ordre.

vision positiviste,
empirico-
inductiviste

Enfin Lederman (1992) suggère que ces recherches soient également menées à bien pendant les cours, sur des thèmes concrets, de façon à déterminer quelles sont les croyances sur la nature de la science qui ont le plus d'influence sur l'enseignement. Dans ce sens, pour Pope et Scott (1983), tant les contenus que les méthodes les plus utilisées dans l'enseignement favorisent chez les élèves une vision cumulative et objective des connaissances scientifiques, une image

vision cumulative
et objective

des sciences expérimentales comme sciences prototypiques et une vision inductiviste de la méthodologie scientifique. Mais avant d'approfondir dans ce sens, voyons quel panorama nous montrent les études sur les croyances relatives à l'enseignement des sciences.

1.2. Si l'on examine les premières études sur le contenu des **conceptions didactiques** des professeurs (Porlán, 1989), on peut distinguer trois points de vue différents.

concernant
les conceptions
didactiques

• **Un point de vue scientifique**

Il se soucie de généraliser les résultats obtenus à partir d'analyses multifactorielles d'un large échantillonnage de questionnaires orientés. Les travaux de Wehling et de Charters (1969), ceux de Victor (1976) avec le *Questionnaire des conceptions du professeur sur le processus éducatif*, celui de Bauch (1984) avec un *Inventaire des croyances sur l'enseignement* (qui porte sur le contrôle du professeur et la participation des élèves) ainsi que des observations de classes en sont des exemples représentatifs. Halkes et Deijkers (1983) ont également réalisé une intéressante compilation d'informations sur le contenu de la pensée pédagogique des professeurs (qu'ils dénomment *critères subjectifs d'enseignement*) ; celle-ci a servi de base à l'élaboration d'un questionnaire et a été soumise à différents contrôles. Ce questionnaire a été utilisé avec différents échantillons de professeurs ; les résultats ont mis en évidence trois noyaux essentiels de conceptions relatives à l'enseignement, centrées respectivement sur : le contrôle du professeur, la participation des élèves et le flux d'activités.

un point de vue
basé sur l'étude
de larges
échantillonnages

• **Un point de vue interprétatif**

Il cherche davantage à approfondir les croyances d'échantillons plus réduits de sujets (voire même d'un seul professeur) et utilise des méthodologies qualitatives pour analyser les données obtenues à travers des entretiens, des questionnaires ouverts, des journaux, d'autres productions écrites, des observations de classe, etc. Elbaz (1981), par exemple, a décrit de manière approfondie les connaissances pratiques d'un professeur dont le contenu fait référence à cinq catégories : la matière enseignée, les caractéristiques du cursus, le style d'enseignement, l'ambiance de la classe et l'image de soi. C'est à partir de ce même point de vue que Buitink et Kemme (1986) ont développé le concept de *théorie éducative subjective* pour décrire les justifications qu'un échantillon de six futurs professeurs donnait à leurs propres comportements face aux élèves. Leurs principales conclusions montrent le caractère global et relativement dynamique de ces théories puisqu'elles changent seulement dans la mesure où elles sont perçues comme inadéquates pour la pratique de classe.

un point de vue
basé sur l'analyse
approfondie
d'échantillons
réduits

• **Un point de vue critique**

un point de vue critique qui sert de base à la transformation des pratiques

Nous adhérons dans une large mesure à ce point de vue qui utilise la recherche en tant qu'aide à la transformation des pratiques des enseignants. Comme exemple nous pouvons citer les travaux d'Oberg (1986) dans lesquels il utilise la technique du répertoire de grille de Kelly pour tenter de définir les constructions sous-jacentes aux pratiques professionnelles. Pour cela, il a demandé à 19 professeurs d'écrire sur leurs pratiques. Les catégories qui furent définies (le rôle du professeur, l'apprentissage, l'enseignement, l'élève et les contenus) furent utilisées à leur tour pour étudier de manière approfondie les pratiques d'un des professeurs. L'auteur transforma la liste des constructions hypothétiques en une série de principes organisés qui servirent de base pour l'orienter dans sa réflexion critique sur les pratiques ; de même, les catégories et les constructions détectées servirent à organiser et analyser les conceptions des autres professeurs.

prédominance de la conception d'un enseignement de type traditionnel

En définitive, les études empiriques sur les conceptions didactiques que nous avons mentionnées montrent une tendance de la majorité à concevoir l'enseignement comme une activité centrée sur les explications du professeur, les contenus constituant l'axe principal de la dynamique de classe contrôlée et dirigée par le professeur. De notre point de vue, *"ces données réaffirment l'évidence quotidienne qu'à l'école, prédomine encore un enseignement que nous avons l'habitude de qualifier de traditionnel"* (Porlán, 1995, p. 11). Mais, en même temps, ces informations révèlent des croyances et des pratiques alternatives par rapport à l'enseignement traditionnel qui, non seulement sont minoritaires, et qui ne sont pas très "consistantes". Autrement dit, soyons conscients du fait qu' *"il n'existe pas dans la pratique éducative, de références à des cursus suffisamment éprouvés pour pouvoir déplacer à court terme les tendances les plus traditionnelles"* (Porlán, 1993, p. 160). D'où la nécessité de revendiquer des lieux et des moments pour mettre en pratique des approches alternatives à celles qui dominent actuellement.

concernant les conceptions de l'épistémologie scolaire

1.3. Pour étudier les **conceptions scientifiques et didactiques** des professeurs, on utilise un point de vue pluriméthodologique qui recherche le contraste entre les informations obtenues grâce à différents instruments. Pour nous, les travaux de Pope et de Scott (1983) — aux quels nous adhérons — sont clairement précurseurs d'une étude de l'épistémologie du professeur, de ses croyances sur les connaissances, de leur construction et de leur transmission en contexte scolaire. L'hypothèse centrale de ces auteurs est la suivante : *"la conception positiviste et empirico-inductiviste des sciences est en conformité avec une version absolutiste de la vérité et des connaissances. C'est ainsi que les professeurs qui soutiennent cette conception de la science, du contenu du cursus et de la façon de l'enseigner, mettront peu*

lien entre
la conception
positiviste
du professeur et
une pédagogie
ignorant
les conceptions
des élèves

ou pas du tout l'accent sur les conceptions de leurs étudiants et sur leur participation active" (Pope et Gilbert, 1983, pp. 76-77, version en espagnol).

Comme exemple d'une des études les plus représentatives, nous pouvons citer celle de Gallagher (1993). Les observations de classe et les discussions avec des professeurs sur leurs points de vue relatifs à l'enseignement lui servirent à nuancer et à enrichir quelques-unes des tendances déjà décrites par d'autres auteurs et à proposer six points de vue sur l'enseignement des sciences.

a. *L'enseignement en tant que transmission d'information*, recueillie par celui qui apprend. Pour cela, il suffit que le professeur connaisse le contenu qu'il va enseigner. La profession d'enseignant est ici considérée comme un travail simple.

b. *L'enseignement en tant que contenu organisé* implique que le professeur réalise une activité complexe d'adaptation du contenu afin qu'il puisse être "assimilé" par les élèves.

c. *L'enseignement en tant qu'ensemble d'activités de manipulations* choisies par le professeur pour que les élèves puissent découvrir le signifié des concepts.

d. *L'enseignement en tant que cycle d'apprentissage* qui commence par l'exploration, l'invention d'explications sur la base des observations réalisées et l'application de ce qui a été appris à d'autres situations.

e. *L'enseignement en tant que changement conceptuel* qui exige aussi que le professeur suive un cycle. Celui-ci commence avec l'identification des idées des élèves, se poursuit avec l'aide à apporter pour que les idées scientifiques soient comprises — ces dernières sont différentes, mais aussi, meilleures que les idées initiales —, pour qu'enfin, les unes soient remplacées par les autres.

f. *L'apprentissage en tant que construction et l'enseignement en tant que guide*. Avec cette conception, la question centrale est que le professeur doit utiliser différentes stratégies pour aider les élèves à donner un sens aux idées qu'il veut leur faire comprendre, à construire des liens entre elles et à expliquer leurs connaissances.

six points
de vue sur
l'enseignement
des sciences
retenus
par Gallagher

influence
du degré
de responsabilité
donné
aux élèves

C'est précisément le degré de responsabilité qui est donné aux élèves qui différencie les trois dernières façons de comprendre l'enseignement des sciences. L'auteur souligne enfin que la formation professionnelle est un processus lent, peu aisé, qui implique des changements profonds dans les conceptions des professeurs sur les connaissances, l'enseignement et l'apprentissage.

En définitive, les données empiriques des différents travaux consultés (Hollon et Anderson, 1987 ; Aguirre, Haggerty et Linder, 1990 ; Smith et Neale, 1991 ; Gallagher, 1993 ; Gustafson et Rowell, 1995 ; Hashweh, 1996) nous offrent une diversité de conceptions qui, dans la mesure où elles mettent en relation davantage de variables, nous rapproche d'une certaine vision de l'épistémologie manifestée par les

rôle déterminant
des conceptions
épistémologiques...

professeurs. Dans ce sens, Gimeno (1988) affirme que *“cette épistémologie implicite du professeur par rapport aux connaissances constitue une part substantielle de ses perspectives professionnelles, tracées tout au long de son expérience, dans sa formation initiale de professeur et même d’élève. La qualité de l’expérience culturelle des professeurs laisse en eux un sédiment au cours de leur formation qui sera la base de leur évaluation du savoir et des attitudes, de la science, des connaissances et de la culture. Perspectives qu’ils mettront en action lorsqu’ils auront à enseigner ou à guider les élèves dans leur apprentissage”* (p. 218). Il existe donc un renforcement des conceptions épistémologiques exprimées par les professeurs : depuis leur expérience d’élèves jusqu’à celle qu’ils acquièrent au cours de leur formation initiale, puis de cette dernière jusqu’à celle qu’ils intériorisent avec une façon bien définie de concevoir et de pratiquer l’enseignement. D’où l’importance que de nombreux auteurs donnent au traitement des conceptions épistémologiques au cours de la formation initiale et continue (Hewson et Hewson, 1987 ; Gil, 1991). Elles constituent la *“matière première”* ou, si l’on préfère, les obstacles les plus importants à la construction d’une connaissance professionnelle significative.

... impliquant
leur traitement
au cours de la
formation initiale
et continue

Nous allons poursuivre par une analyse de nos données sur le même sujet : se rapprocher de la pensée des professeurs à travers ce qu’ils font et disent.

2. DE LA DIVERSITÉ DES CONCEPTIONS DES PROFESSEURS AUX NIVEAUX DE FORMULATION DES CONNAISSANCES PROFESSIONNELLES

quatre études
empiriques
réalisées
de 1989 à 1994

Au cours des dernières années (1989-1994), nous avons réalisé quatre études empiriques que nous considérons importantes pour la problématique traitée. Nous avons travaillé avec des échantillons, larges ou réduits, de professeurs en formation initiale ou en exercice. Les instruments et les techniques utilisés dans le traitement des données sont résumés dans le tableau 1. Puisque instruments et techniques sont soumis à un même cadre théorique de référence et qu’une description détaillée des données ne peut être envisagée (on peut, pour cela, consulter les publications citées), nous les présenterons ensemble, en analysant chaque catégorie étudiée : image de la science, modèle didactique personnel, théorie subjective de l’apprentissage et conception du cursus (contenus, méthodologie et évaluation).

Tableau 1. Études réalisées sur les conceptions épistémologiques des professeurs

ÉTUDES	ÉCHANTILLONS	INSTRUMENTS	TECHNIQUES
ÉTUDE 1 (Porlán, 1989 ; 1994)	7 futurs professeurs d'enseignement général de base (EGB)	Entretien Informations écrites (Journal de pratiques)	Analyse de contenu
ÉTUDE 2 (Porlán, 1989)	107 futurs professeurs EGB 158 professeurs EGB	Inventaire de croyances pédagogiques et scientifiques (INPECIP)	Analyse de composants principaux (ACP)
ÉTUDE 3 (Martín, 1994)	24 futurs professeurs EGB	INPECIP	ACP
ÉTUDE 4 (Martín, 1994)	6 groupes de 4 futurs professeurs EGB	Informations écrites (Conception unité didactique)	Analyse de contenu

En conformité avec d'autres études, nous détectons, pour les différentes catégories étudiées, une diversité de conceptions qui nous permet d'établir différents niveaux de formulation dans une progression possible avec :

- a. un niveau de départ qui, en général, est plus proche des tendances majoritaires du corps enseignant,
- b. des niveaux intermédiaires qui tentent de surmonter, avec parfois des approches très différentes, les obstacles que supposent les dites tendances majoritaires,
- c. et un niveau de référence qui tente de dépasser les difficultés que présentent les réponses partielles des niveaux intermédiaires et qui se rapproche de la connaissance professionnelle que nous considérons comme souhaitable (Porlán et al., 1996).

D'après nos points de vue sur la nature, l'organisation et la construction de la compétence professionnelle (Porlán, Rivero et Martín, 1996), cette façon de synthétiser les données empiriques est utile pour la pratique de la formation du corps enseignant (l'étude des conceptions des élèves l'est aussi) ; en effet, elle est liée à l'hypothèse que des obstacles rendent difficile l'avancement vers des conceptions toujours plus évoluées sur le savoir, son enseignement et son apprentissage en contexte scolaire. Pourtant, il ne s'agit pas d'itinéraires fermés à parcourir par tous les professeurs ; il s'agit plutôt de références pour le formateur, qui doivent l'enrichir et contraster avec les données qui proviennent de l'expérimentation de stratégies de formation en cohérence avec ces suppositions.

2.1. Image de la science : de l'empirisme au relativisme

Dans les études 2 et 3 ont été détectés trois modèles relatifs à l'image de la science : rationalisme, relativisme et empi-

différents niveaux
de formulation
pour chaque
catégorie de
conceptions

analyse
synthétique :
référence
pour le formateur

plus grande
diversité chez
les futurs
professeurs

risme, ce dernier correspondant aux facteurs qui expliquent un plus haut pourcentage de variation (voir tableau 2). En outre, comme on peut le constater, les futurs professeurs présentèrent une plus grande diversité de conceptions que les professeurs en exercice, plus proches de l'empirisme. Cela est probablement dû au fait que les premiers n'ont pas une expérience empirique suffisante à confirmer avec leurs idées et que leurs points de vue sont peu stables dans la mesure où ils ne répondent pas à des critères très définis.

Tableau 2. Interprétation des facteurs obtenus par les analyses de composants principaux (ACP) en rapport avec l'image de la science (INPECIP)

IMAGE DE LA SCIENCE		ANALYSE DE COMPOSANTS PRINCIPAUX		
		FACTEUR 1	FACTEUR 2	FACTEUR 3
ÉTUDE 2 (Porlán, 1989)	Professeurs EGB	Empirisme modéré (14,28 %)	Empirisme modéré (13,07 %)	Empirisme radical (12,00 %)
	Futurs professeurs EGB	Empirisme radical (13,35 %)	Relativisme (10,07 %)	Rationalisme (9,64 %)
ÉTUDE 3 (Martín, 1994)	Futurs professeurs EGB	Empirisme modéré (15,87 %)	Empirisme radical (13,06 %)	Dimension réaliste et objectiviste des connaissances (13,04 %)

Entre parenthèses est indiqué le pourcentage de variation de chaque facteur.

Les résultats obtenus dans ces deux études se situent dans la ligne de ceux mentionnés plus haut en ce qui concerne la tendance la plus représentative. Pour ce qui est de l'étude 1, cette tendance se résume dans les principes suivants.

- **Principe de la neutralité et de l'authenticité des connaissances scientifiques**

Les connaissances sont dans la réalité et la science en est un reflet certain (réalisme). Il existe une seule méthode universelle pour avoir accès aux connaissances sans qu'il soit possible d'être influencé par la subjectivité (objectivisme). Cette méthode part de l'observation, de l'élaboration d'hypothèses, de l'expérimentation et de l'énoncé de théories (inductivisme). Il s'agit d'une conception empiriste radicale ou expérimentalo-inductive (Aguirre, Haggerty et Linder, 1990). Néanmoins, les hypothèses de départ peuvent exercer une certaine influence sur le processus (*empirisme modéré*) : c'est ce que Aguirre, Haggerty et Linder (1990) appellent une conception *expérimentalo-falsificatrice*.

conception
expérimentalo-
inductive

- **Principe de la véracité des connaissances scientifiques**

Les connaissances scientifiques, qui sont obtenues de manière empirique, ont un caractère absolu et universel. Bien que, dans certains domaines, on puisse observer une

certaine tension avec des positions plus relativistes. Cela est dû en partie au fait que l'existence de différentes théories scientifiques sur un même phénomène au cours de l'histoire est connue.

• **Principe de la supériorité des connaissances scientifiques**

un certain autoritarisme épistémologique

Il correspond à l'idée d'un certain autoritarisme épistémologique qui considère les connaissances scientifiques, en particulier celles des sciences expérimentales, comme une forme supérieure de connaissances et qui dévalorise les connaissances plus subjectives et quotidiennes.

cependant des conceptions relativistes apparaissent

Cependant, dans cette même étude sont apparues d'autres positions qui ne sont pas propres à un empirisme épistémologique. L'une que nous pouvons identifier avec des conceptions relativistes dans la perspective détectée par Koulaidis et Ogborn (1989), avec une certaine influence du sujet sur le processus d'élaboration des connaissances (ses propres idées et centres d'intérêt, l'influence des théories sur l'observation, etc.) et avec un caractère plus provisoire et évolutif ; et une autre que nous pouvons identifier avec des conceptions plus rationalistes.

Sur le tableau 3 nous pouvons observer un aperçu de cette diversité de conceptions sur les connaissances scientifiques en termes de formulations de complexité croissante.

Tableau 3. Niveaux de formulation sur l'image de la science

IMAGE DE LA SCIENCE		
RATIONALISME	EMPIRISME RADICAL	ALTERNATIVE
<p><i>“Le modèle rationaliste répond à un point de vue qui considère que les connaissances sont un produit de l'esprit humain, généré au moyen de la rigueur logique et de la raison. Pour le rationalisme, les connaissances ne se trouvent pas dans la réalité et ne s'obtiennent pas non plus en observant cette dernière, étant donné que les sens de l'homme déforment inévitablement les faits et, par conséquent, altèrent la réalité en empêchant le savoir authentique. Cette position intellectuelle correspond à une forme d'absolutisme non empiriste.”</i> (Porlán, 1989, p. 313)</p>	<p><i>“Se fonde sur la croyance que l'observation de la réalité permet d'obtenir par induction les connaissances objectives et vraies qui, alors, sont un reflet de la réalité (objectivisme, absolutisme et réalisme).”</i> (Porlán, 1989, p. 315)</p> <p>EMPIRISME MODÉRÉ</p> <p><i>“Proche d'un inductivisme nuancé ou d'un certain falsificationnisme expérimentaliste dans lequel l'hypothèse et l'expérimentation se substituent à la pure observation comme axe fondamental du processus scientifique.”</i> (Porlán, 1989, pp. 314-315)</p>	<p><i>“Une nouvelle image de la science en tant qu'activité conditionnée socialement et historiquement, menée à bien par des scientifiques (individuellement subjectifs mais collectivement critiques et sélectifs), détenteurs de différentes stratégies méthodologiques qui embrassent des processus de création intellectuelle, une validation empirique et une sélection critique, à travers lesquelles se construit un savoir temporel et relatif qui change et se développe en permanence.”</i> (Porlán, 1989, p. 65)</p>

vision absolutiste :
obstacle à une
épistémologie
constructiviste

D'autre part, "l'arrière-fond absolutiste qui est présent dans la vision empiriste de la science comme dans sa vision rationaliste (c'est-à-dire tant dans ce que les professeurs pensent que dans ce qu'ils font) est, de notre point de vue, l'obstacle le plus puissant au développement d'une épistémologie constructiviste" (Porlán et Martín, 1996, p. 27).

La vision des connaissances scientifiques comme quelque chose d'absolu, d'objectif, d'achevé, de décontextualisé et de neutre, est l'obstacle épistémologique, le noyau dur des conceptions, dans la terminologie d'Astolfi (1993) ; il empêche de considérer les connaissances scolaires (et la connaissance professionnelle elle-même) comme des connaissances épistémologiquement différenciées (et non comme une reproduction encyclopédique, fragmentée et simplifiée des disciplines), et les connaissances des élèves comme des connaissances alternatives (et non comme des connaissances erronées à remplacer par les correctes). Sur la base de notre expérience, nous sommes en mesure de dire que ces conceptions peuvent être « activées » au cours du processus de formation, à partir du travail sur des hypothèses de cursus en rapport avec des lieux communs concrets (Porlán et Martín, 1996).

2.2. Modèles didactiques : les alternatives au modèle traditionnel

trois modèles...

La plus grande représentativité de la conception empiriste de la science ne comporte pas, dans les sujets, d'homogénéité dans la façon de comprendre les processus d'enseignement-apprentissage. Les résultats font apparaître trois tendances ou modèles didactiques personnels (voir tableau 4).

Tableau 4. Interprétation des facteurs obtenus par les ACP des déclarations relatives au modèle didactique personnel (INCECIP)

MODÈLE DIDACTIQUE		ANALYSE DE COMPOSANTS PRINCIPAUX		
		FACTEUR 1	FACTEUR 2	FACTEUR 3
ÉTUDE 2 (Porlán, 1989)	Futurs professeurs EGB	Technologique (12,85 %)	Technologique (11,14 %)	Alternatif (10,57 %)
	Professeurs EGB	Traditionnel (22,5 %)	Alternatif (15,64 %)	Technologique (9,78 %)
ÉTUDE 3 (Martín, 1994)	Futurs professeurs EGB	Alternatif-Technologique (20,02 %)	Technologique (17,11 %)	Traditionnel (13,81 %)

Entre parenthèses est indiquée la variation exprimée pour chaque facteur.

... technologique...

- *Modèle technologique*, identifié fondamentalement avec les objectifs comme axe structurant la pratique et comme référence pour l'évaluation de l'apprentissage des élèves. Ce modèle apparaît parmi les facteurs qui expliquent un pourcentage plus élevé de variation entre les échantillons de futurs professeurs dans les études 2 et 3. Cette tendance

est également détectée dans l'étude 1 ; en synthèse, il s'agit d'un principe de rationalité scientifique des connaissances didactiques, en fonction duquel est adoptée une position scientiste et expérimentaliste dans l'étude des processus d'enseignement-apprentissage. L'enseignement est conçu comme une activité technique dont la qualité s'améliorera grâce à l'utilisation de méthodes plus scientifiques.

... traditionnel...

- *Modèle traditionnel*, qui paraît plus représentatif parmi les professeurs en activité et qui est centré sur la transmission verbale des contenus.

... alternatif,
plus complexe...

- Sont apparues également des déclarations qui reflétaient une *conception alternative du processus d'enseignement-apprentissage*, et qui mettaient l'accent sur son caractère complexe, sur la participation des élèves et sur le rôle de chercheur du professeur.

... correspondant
à des niveaux
de formulation
différents

D'après ce qui précède et sur la base d'autres études (Porlán et Martín, J., 1991 ; Porlán, 1993 ; Martín, R., 1995), nous pouvons considérer le modèle didactique de type traditionnel (centré sur les contenus et le professeur ou dépendant d'eux) comme un premier niveau de formulation proche des considérations quotidiennes sur l'acte d'enseigner. La critique de ce modèle, sur le plan du manque de rigueur (critique scientífico-technique) ou sur celui du manque de participation des élèves (critique idéologique), provoque deux tendances alternatives : l'une technologique, l'autre spontanée. Toutes deux se situent à un niveau de formulation intermédiaire puisqu'elles tentent de résoudre les problèmes posés par le rationalisme et l'encyclopédisme du modèle traditionnel en transférant l'empirisme scientifique sur le terrain didactique : la première à travers des processus excessivement fermés et rigides, la seconde étant plus proche de l'idée d'une *découverte inductive et autonome* des élèves (Gil, 1983). Enfin, à un niveau de plus grande complexité, nous situerions un modèle didactique de type constructiviste et investigatif (voir tableau 5).

Tableau 5. Niveaux de formulation relatifs au modèle didactique personnel

MODÈLE DIDACTIQUE		
TRADITIONNEL	TECHNOLOGIQUE	ALTERNATIF
<p>“L’approche traditionnelle représente une conception ascientifique des processus d’enseignement-apprentissage selon laquelle, dans le meilleur des cas, il suffit que le professeur ait une bonne formation sur les contenus de la matière et certaines qualités humaines en harmonie avec l’activité d’enseignant, pour que le système fonctionne. Lorsqu’il échoue, ou cela est dû au fait que le professeur ne réunit pas les conditions requises mentionnées, ou bien que les élèves sont des étudiants déficients ou qu’ils ont des capacités intellectuelles limitées. Dans cette approche, l’axe fondamental autour duquel gravitent l’organisation et le développement des tâches scolaires est l’axe thématique des contenus, d’où la dénomination qui lui est souvent donnée de pédagogie de contenus.” (Porlán, 1989, p. 325)</p>	<p>“ Face à l’ascientifisme de l’approche traditionnelle, l’approche technologique est caractérisée par le fait de concevoir l’enseignement dans une perspective de rationalité pratique de type instrumental. D’après celle-ci, la Science, qui représente la véritable connaissance, peut prescrire des normes et des procédés techniques rigoureux qui garantissent une pratique efficace. La Didactique est conçue comme une activité scientifique-technique chargée de recherche et de normes pour la pratique de l’enseignement. C’est l’approche technique ou par objectifs.” (Porlán, 1989, p. 327)</p> <p style="text-align: center;">SPONTANÉISTE</p> <p>“L’approche spontanéiste met l’accent sur le fait de placer l’élève au centre de l’enseignement afin qu’il puisse s’exprimer, participer et apprendre dans un climat de spontanéité et de naturel, dans lequel son intérêt agit comme un important élément organisateur.” (Porlán, 1993, p.155)</p>	<p>“ La raison pour laquelle ce modèle est désigné par un terme aussi ambigu vient du fait que nous ne disposons pas encore d’un référentiel théorique consolidé qui nous permette d’unir en un seul concept synthétique ses traits les plus caractéristiques. Nous nous référons, par exemple, aux dimensions de relativisation, complexes et écologistes qui se situent parmi les conceptions critique et interprétative de la théorie de l’enseignement.” (Porlán, 1989, p. 328)</p>

2.3. Théorie de l'apprentissage : de l'esprit "en blanc" à la construction de signifiés

Dans les études 2 et 3 (voir tableau 6), parmi les conceptions des professeurs sur l'apprentissage, les facteurs qui expliquent un taux supérieur de variation sont en rapport avec l'idée que l'élève est un esprit "en blanc" ou une table rase, qui reçoit une information du professeur et qui en percevra la signification dans la mesure où il sera attentif et où il n'y aura aucun dysfonctionnement ; c'est ce que nous pou-

de l'appropriation
de signifiés...

vons appeler *apprentissage par appropriation de signifiés externes* au sujet (Porlán, 1989). Cependant, cette conception doit être nuancée dans le cas de l'étude 3 dans la mesure où de nombreux sujets reconnaissent que les élèves ont des conceptions spontanées et que, pour pouvoir apprendre, il est nécessaire que le professeur "corrige" les idées des élèves si elles sont erronées pour les remplacer par des idées exactes ; c'est ce que Hollon et Anderson (1987) appellent orientation de l'apprentissage en tant que *compréhension du contenu* selon laquelle les élèves ajoutent des connaissances ou corrigent celles qu'ils ont déjà à partir des explications du professeur. Nous pouvons alors considérer que la conception la plus représentative sur l'apprentissage est "polluée" par une idée de plus en plus répandue parmi les professeurs : les élèves ont des idées sur le monde qui doivent être prises en considération (reste à savoir quelle considération didactique elles méritent et que faire de ces idées).

Tableau 6. Interprétation des facteurs obtenus par les ACP des déclarations en relation avec l'apprentissage (INPECIP)

THÉORIE SUBJECTIVE DE L'APPRENTISSAGE		ANALYSE DE COMPOSANTS PRINCIPAUX		
		FACTEUR 1	FACTEUR 2	FACTEUR 3
ÉTUDE 2 (Porlán, 1989)	Futurs professeurs EGB	Appropriation de signifiés (12,50 %)	Assimilation de signifiés (11,35 %)	Appropriation de signifiés (10,50 %)
	Professeurs EGB	Appropriation de signifiés (20,85 %)	Assimilation de signifiés (15,42 %)	Construction de signifiés (9,14 %)
ÉTUDE 3 (Martin, 1994)	Futurs professeurs EGB	Appropriation de signifiés (16,45 %)	Assimilation de signifiés (16,41 %)	(*) (13,81 %)

Entre parenthèses est indiquée la variation exprimée pour chaque facteur.

(*) Dans ce cas, le facteur contient un nombre de déclarations que nous considérons insuffisant pour inférer une conception déterminée de l'apprentissage.

... à la construction
des signifiés

Des facteurs proches d'une conception que nous appellerons *par assimilation de signifiés* (Porlán, 1989) sont également apparus. D'après celle-ci, pour apprendre, il faut être personnellement impliqué dans le contenu de l'apprentissage et établir des liens entre ce dernier et ce que l'on sait déjà sur la question, de façon à l'intégrer de manière significative à la structure cognitive ; c'est ce que Hollon et Anderson (1987) désignent par orientation de *développement conceptuel* et qui apparaît également dans l'étude de Aguirre, Haggerty et Linder (1990). Par ailleurs, l'échantillon constitué par des professeurs de collège en exercice a montré des approches très diverses parmi lesquelles ont pu même être détectées des déclarations proches de l'idée de construction des signifiés.

l'obstacle : ne pas tenir compte des conceptions ou les assimiler à des erreurs

Sur le tableau 7, on peut distinguer les niveaux de formulation que nous proposons en rapport avec la manière de concevoir l'apprentissage en contexte scolaire. Dans cette progression, la conception selon laquelle les élèves "ne savent rien" ou ont des idées "erronées" agit en tant qu'obstacle pour considérer les conceptions des élèves comme des connaissances alternatives qui doivent interagir avec les connaissances scolaires que nous considérons comme souhaitables. Nous pouvons considérer cet obstacle comme faisant partie d'une conception réductionniste et additive du système cognitif (García, 1995).

Tableau 7. Niveaux de formulation sur l'apprentissage

THÉORIE DE L' APPRENTISSAGE		
APPROPRIATION	ASSIMILATION	CONSTRUCTION
<p><i>"Ensemble de croyances assez généralisées qui conçoivent le fait d'apprendre comme un acte d'appropriation cognitive au moyen duquel le sujet qui apprend prend à l'extérieur, soit d'une autre personne, d'un texte écrit ou de la réalité elle-même, des signifiés déterminés. Cela présuppose que la transmission de signifiés est un processus neutre et objectif dans lequel les messages ne subissent ni altérations ni déformations entre le sujet émetteur et le sujet récepteur. Cela présuppose également que dans chaque concept, processus ou information qu'il convient d'enseigner ou d'apprendre, il n'existe qu'un seul signifié exact. Celui qui va apprendre quelque chose le fait ou parce qu'il ne possède pas le signifié en question, ou parce que celui qu'il possède est inexact. Cette idée concernant l'apprentissage a été représentée par les métaphores du verre vide ou de l'esprit en blanc."</i> (Porlán, 1989, p. 337)</p>	<p><i>"De ce point de vue, ce qui est important n'est pas d'absorber un signifié comme s'il s'agissait d'un paquet d'information que nous rangerions sur une étagère déterminée de notre mémoire pour l'utiliser quand cela nous semble nécessaire. Ce qui est important est d'assimiler, de se l'approprier de manière significative, de le comprendre en profondeur, de l'intégrer à une structure cognitive de caractère relationnel. Cela suppose une attitude plus active du sujet. Pour assimiler, il faut vouloir le faire, il faut s'y intéresser par soi-même et avoir des dispositions. Mais assimiler suppose aussi posséder les signifiés antérieurs et collatéraux qui permettent de réaliser avec succès les opérations d'assemblage du nouveau signifié."</i> (Porlán, 1989, pp. 339-340)</p>	<p><i>"La construction de connaissances est un processus au cours duquel l'individu et le groupe ne font pas que construire graduellement parce que, dans ce processus, le sujet élabore les signifiés et ne fait pas que les prendre ou les assimiler, il construit de manière singulière le chemin spécifique de son évolution. Il n'y a donc pas de structures rigides et uniques de développement préfixé, ni d'objectifs finaux obligés dans le processus ; il y a des itinéraires de personnes et de groupes influencés socialement, qui constituent des développements cognitifs semi-autonomes, sans référentiels absolu et terminal devant être nécessairement atteints."</i> (Porlán, 1989, p. 342)</p>

2.4. Conception du cursus : le transfert de l'empirisme scientifique au terrain didactique

étude 4 centrée sur un champ conceptuel concret : la réaction chimique

Dans les études précédentes, nous n'avons fait référence à aucun contenu scolaire concret étant donné qu'il s'agissait de décrire des conceptions générales sur la science, l'enseignement et l'apprentissage. Il est intéressant à présent de commenter les liens possibles entre l'épistémologie scolaire des professeurs et leurs conceptions sur l'enseignement d'un champ conceptuel concret. C'est ainsi que l'étude 4 était centrée sur la conception d'un cursus relatif à un contenu scolaire : la réaction chimique. Pour ce faire, a été réalisée une analyse de contenu des conceptions qui apparaissent dans les unités didactiques élaborées par six groupes de quatre futurs professeurs de collège en situation habituelle de classe, pendant une formation initiale ; la thématique de référence était l'enseignement de la réaction chimique en 4^{ème} (14 ans).

Dans cette étude, les conceptions des cursus qui découlent des modèles didactiques précédemment décrits (traditionnel, technologique, spontanéiste et alternatif) nous ont servi de référence pour donner un sens aux différentes sous-catégories des dits cursus (contenus, méthodologie et évaluation), ce qui a orienté l'analyse du contenu des conceptions des unités didactiques (voir tableau 8).

contenus enseignés : le plus souvent ensemble cumulatif et fragmentaire de concepts, lois et théories

Les résultats montrent que les contenus que la grande majorité des sujets observés prétend enseigner sont un ensemble cumulatif et fragmentaire de concepts, lois et théories dont la structure répond à la version simplifiée et dogmatique des connaissances de la matière offerte par les manuels scolaires. Les contenus sont organisés de manière linéaire, sous forme de listes, sans que rien ne les relie. Par ailleurs, les contenus que l'on tente d'enseigner sont indiqués, mais sous une forme qui n'est pas adaptée à des élèves de 14 ans. Cependant, à côté de cette tendance majoritaire, quelques éléments donnent une certaine complexité au contenu de l'enseignement, en particulier lorsqu'on tente de répondre à l'éventuel intérêt des élèves pour les réactions chimiques (application et utilité de ces phénomènes). Pourtant, en aucun cas, les contenus ne sont organisés autour des problèmes importants pour le contexte scolaire de façon que les connaissances d'origines diverses puissent être intégrées et réélaborées ; de même, aucun autre niveau de formulation n'est proposé pour le concept de réaction chimique et aucun lien n'est établi entre concepts de même niveau. Ces constats sont dus, entre autres, au fait que les professeurs n'ont pas reçu de formation dans leur discipline, ni en didactique, qui les prépare à ces tâches.

méthodologie majoritaire : application empiriste de la méthode scientifique et explications du professeur

Dans la méthodologie utilisée pour enseigner apparaît une tendance majoritaire basée sur le mélange de deux éléments : l'application empiriste de la méthode scientifique (activités d'observation de phénomènes pour inférer des concepts) et l'explication du professeur pour faire com-

Tableau 8. Niveaux de formulation dans les différentes catégories curriculaires

SOUS-CATÉGORIES (aspects étudiés)	APPROCHE CURRICULAIRE (hypothèse de progression)		
	Approche traditionnelle	Tendance technologique ----- Tendance spontanéiste	Approche alternative (constructiviste et investigative)
CONTENUS - niveaux de formulation - amplitude et diversité - organisation	Le contenu des connaissances scolaires en tant que reproduction simplifiée des connaissances dans la discipline concernée	Le contenu des connaissances scolaires comme adaptation contextuelle des connaissances de la discipline ----- Le contenu des connaissances scolaires comme adaptation contextuelle des connaissances	Le contenu des connaissances scolaires en tant que réélaboration et intégration des connaissances provenant de différentes sources
MÉTHODOLOGIE - rôle didactique des conceptions des élèves - caractérisation des activités - interaction professeur-élèves	Basée sur la transmission verbale des connaissances par le professeur pendant que les élèves l'écoutent et/ou réalisent des activités de vérification en rapport avec ce qui est expliqué	Basée sur la version forte (inductivisme) de l'empirisme. Les objectifs comme fil conducteur des activités ----- Basée sur la version faible de l'empirisme. L'intérêt de l'élève comme fil conducteur des activités	La recherche de problèmes d'intérêt potentiel est ce qui donne un sens aux activités, les idées des élèves étant un référentiel continu du processus
ÉVALUATION - finalité - contenu - instruments	L'évaluation en tant que note pour vérifier que les élèves se sont bien appropriés les concepts expliqués	L'évaluation en tant que mesure du degré d'atteinte des objectifs ----- L'évaluation en tant que participation à la dynamique de la classe	L'évaluation en tant que recherche pour ajuster enseignement et apprentissage (c'est-à-dire, l'hypothèse des connaissances scolaires souhaitables et l'évolution réelle des conceptions des élèves)

prendre les concepts en question. Pour cette tendance, soit les idées des élèves ne sont pas prises en compte, soit elles sont considérées comme des pré-requis conceptuels qu'ils doivent posséder. Les interactions professeur-élèves se limi-

tent plutôt à une relation unidirectionnelle qui va du rôle directif du professeur au rôle actif de l'élève (dans le sens où il réalise les activités demandées par le professeur). De même, à côté de ces éléments majoritaires se mêlent des éléments minoritaires qui définissent deux tendances méthodologiques distinctes dans des groupes différents.

deux tendances
méthodologiques
minoritaires :
centrées sur
l'intérêt
des élèves...

- La première correspond à une méthodologie centrée sur l'intérêt et la participation des élèves, elle recherche tout ce qui est susceptible de les surprendre. Le professeur joue ainsi un rôle de préparateur de toute activité présentant un potentiel de motivation des élèves (informations, films, représentations théâtrales, bal costumé...). Tout semble indiquer que ce qui est recherché avant tout est une attitude favorable à l'apprentissage. Par conséquent les idées des élèves sont considérées comme une manifestation de leur intérêt pour le sujet et non pas comme des connaissances qu'il faut faire évoluer.

... ou sur leurs
conceptions

- La deuxième tendance correspond à une méthodologie centrée sur les conceptions des élèves, les discussions et sur le rôle du professeur qui oriente toutes ces idées vers des connaissances partagées.

pas de véritables
modèles

Nous devons insister néanmoins sur le fait qu'il s'agit là d'éléments qui différencient les propositions méthodologiques de ces groupes par rapport à celles des autres, mais ce ne sont pas des modèles proprement dits (spontanéiste dans un cas, constructiviste dans l'autre).

La séquence d'activités prototypique pourrait être : observation de phénomènes → inférence de concepts → explication du professeur comme renforcement → application à d'autres situations.

évaluation
en cohérence
avec un modèle
didactique
traditionnel

En ce qui concerne l'évaluation, tout semble indiquer qu'elle est en cohérence avec un modèle didactique traditionnel (vérification finale des apprentissages conceptuels au moyen d'épreuves écrites), mais "polluée" par des éléments plus caractéristiques d'une tendance technologique (diagnostics initial et final du niveau de connaissances) ou spontanéiste (pas d'épreuves écrites, importance de l'attitude de l'élève), ou même complexe (processus continu d'amélioration de l'apprentissage comme de la progression elle-même à travers l'information provenant de sources très diverses).

En résumé, l'interaction entre leurs connaissances concernant la réaction chimique et les connaissances didactiques générales a permis aux futurs professeurs d'élaborer une proposition de cursus qui se caractérise par :

les
caractéristiques
du cursus
élaboré pour
enseigner
la réaction
chimique

- a. l'utilisation de manuels de même niveau comme référence fondamentale pour la sélection des contenus et de matériels de cours centrés sur les activités ;
- b. une séquence linéaire de contenus organisés selon la logique de la discipline et sur un mode cumulatif, caractéristiques des manuels utilisés ;
- c. une séquence fermée d'activités d'observation en laboratoire,

dirigées par le professeur, qui permettent aux élèves d'inférer les concepts ;

- d. une série d'outils, en particulier des épreuves écrites, pour vérifier que les élèves ont acquis les connaissances définies au préalable.

Ainsi donc, les conceptions didactiques générales qui apparaissent sont "polluées" par des approches plus simplistes (ou traditionnelles) sur l'enseignement (le professeur comme source de connaissances véritables) et l'apprentissage (les élèves s'approprient les connaissances qu'ils n'ont pas et qui se trouvent dans la réalité et dans les explications du professeur) lorsqu'elles entrent en contact avec le concret, c'est-à-dire au moment d'élaborer une proposition didactique sur la réaction chimique. Nous comprenons que du fait que les étudiants-professeurs rejettent l'enseignement de type transmissif qu'ils ont reçu, ils expriment certaines approches alternatives si bien que, en réalité, celles-ci sont le produit de l'interaction entre ce rejet et l'influence à laquelle ils ont été soumis par imprégnation lorsqu'ils étaient élèves. Autrement dit, tout en rejetant cet enseignement, dans la mesure où ils n'en ont pas reçu d'autre, ils ne remettent en cause que les aspects les plus évidents (les cours sont ennuyeux, il n'y a pas d'activités pratiques, tout doit être appris par cœur, etc.) et non leurs fondements didactiques (en particulier ceux liés à l'apprentissage et au type de connaissances impliqué dans le processus). D'autre part, il peut arriver qu'ils ne disposent pas encore de suffisamment d'éléments théoriques et pratiques pour transférer leurs approches d'ordre général à l'enseignement dans un domaine conceptuel concret.

interaction entre le rejet de l'enseignement de type transmissif et l'imprégnation subie en tant qu'élève

l'obstacle absolutiste conduit le professeur...

... à opter pour un point de vue plus technologique que spontanéiste

Cet arrière-fond absolutiste de la conception empiriste des connaissances, détecté chez les futurs professeurs, les conduit à penser qu'un processus d'inférence (activités basées sur l'observation de phénomènes), dirigé par le professeur et renforcé par ses explications, amènera les élèves à acquérir les connaissances définies au préalable ; le moment venu, les élèves corrigent leurs erreurs ou comblent d'éventuelles lacunes dans leurs connaissances antérieures. Ainsi donc se confirme l'obstacle absolutiste représenté par les conceptions épistémologiques des professeurs qui les font opter pour un point de vue plus technologique que spontanéiste au moment où il leur faut considérer les connaissances scolaires en général et ce domaine conceptuel en particulier.

En définitive, la transposition ou transformation didactique qu'effectuent les futurs professeurs consiste à reproduire la vision cumulative, fragmentaire et non interactive des réactions chimiques qui est la leur. Dans ce processus, c'est le type de transposition qui influe fondamentalement ; il apparaît à son tour dans les textes scolaires (simplification des contenus des disciplines, organisation de ceux-ci en fonction de la logique de la discipline et vision empiriste et ency-

une transposition didactique qui consiste à reproduire une vision cumulative et fragmentaire de la réaction chimique

clopédique des connaissances scientifiques) puisqu'ils sont utilisés comme sources d'information privilégiée pour déterminer les contenus à enseigner, et également dans le matériel de cours centré sur les activités (qui favorise aussi une vision empiriste de la science). De notre point de vue, l'obstacle didactique fondamental est une vision mécanique et simpliste d'activités qui caractérisent les *compétences pratiques professionnelles* : la transformation et l'intégration des connaissances d'origines diverses (les disciplines scientifiques, les connaissances des élèves, la problématique de l'environnement social, les connaissances scolaires déjà élaborées...) en une hypothèse de progression des connaissances scolaires (Martín, 1994a).

2.5. Une approche de l'épistémologie scolaire des professeurs

une théorie des connaissances scolaires

Comme nous l'avancions dans l'étude d'autres travaux empiriques, nous avons également tenté de définir une approche plus globale des conceptions afin de nous rapprocher de ce qui serait "*une théorie spécifique des connaissances données, assimilées ou construites dans le cadre et le contexte spécifiquement scolaires*" (Porlán, 1989, p. 366). C'est ainsi qu'actuellement les catégories étudiées sont considérées en tant que différentes dimensions d'une théorie des connaissances scolaires.

quatre hypothèses sur l'épistémologie scolaire

D'après l'analyse des principaux composants de l'ensemble des déclarations de l'INPECIP (Inventaire des Croyances pédagogiques et scientifiques des Professeurs), une série de facteurs a été obtenue qui s'organise en quatre hypothèses sur l'épistémologie scolaire, synthèse de celles qui ont été observées dans les analyses partielles commentées plus haut. Nous les présentons ci-dessous.

- **Une conception des connaissances scolaires en tant que produit fini**

d'un modèle traditionnel...

Reflet d'une position rationaliste sur la nature de la science c'est un modèle didactique traditionnel qui implique une conception de l'apprentissage basée sur l'appropriation de signifiés et une méthodologie d'enseignement axée sur la transmission des connaissances déjà élaborées par le professeur.

- **Une conception des connaissances scolaires en tant que processus technique**

Elle paraît cohérente avec une image empiriste de la science, un modèle didactique scientifico-technique, une conception de l'apprentissage par assimilation de signifiés et une méthodologie basée sur l'activité de l'élève qui applique les étapes de la méthode scientifique.

• **Une conception des connaissances scolaires en tant que processus spontané**

Elle participe également d'un empirisme plus modéré, d'une conception de l'apprentissage par assimilation et, très spécifiquement, d'une méthodologie basée sur l'activité spontanée de l'élève. D'après l'auteur, ce point de vue recherche un "mélange impossible entre l'objectivité de l'empirique et la subjectivité du spontané" (Porlán, 1989, p. 377).

• **Une conception des connaissances scolaires en tant que processus complexe**

Elle tente de dépasser la dichotomie entre ce qui est objectif et subjectif, rationnel et spontané, absolu et relatif. Que les connaissances soient relatives ne signifie pas qu'une communauté comme la communauté scolaire ne puisse choisir les connaissances qui résolvent les problèmes et satisfassent les intérêts de ses membres. Certaines déclarations qui font référence aux intérêts des élèves, à leurs connaissances préalables, à la façon de poser les problèmes,... sont quelques-uns des traits caractéristiques de cette tendance alternative.

Les résultats obtenus par les professeurs en exercice sont très variés ; ils dépendent du nombre d'années d'expérience professionnelle et de la spécialisation. Leurs conceptions épistémologiques les plus représentatives s'identifient avec une conception des connaissances qui constitue quelque chose de formel à transmettre par le professeur et à apprendre par les élèves. À côté de cette tendance majoritaire parmi les sujets les plus expérimentés, les enseignants spécialistes des sciences conçoivent les connaissances scolaires comme réductibles à l'efficacité d'un processus technique fortement dirigé par le professeur, qui programme les activités pratiques des professeurs et leur transmet les connaissances exactes. De même, et bien qu'il s'agisse d'une position minoritaire, on peut également observer un courant d'opinion très proche des conceptions relativistes, ouvertes et complexes de ce qui est scolaire.

En ce qui concerne l'échantillon des futurs professeurs, leur rejet de l'enseignement traditionnel et le fait d'adopter une conception empiriste des connaissances ne correspondent pas nécessairement à une perspective didactique spontanée mais plutôt à l'idée que "l'enseignement doit être un processus technique et dirigé qui conduise les élèves, à travers des activités pratiques (observation, expérimentation, etc.) parfaitement programmées, à découvrir les connaissances définies au préalable par le professeur" (Porlán, 1989, p. 397). Autrement dit, "les étudiants de didactique expriment un rejet significatif d'une conception des connaissances considérées comme un pur produit final. Pour eux, les connaissances sont davantage associées à des processus empiriques et pratiques qu'à un académisme rationnel, ce qui les conduit à défendre une méthodologie de travail de classe basée sur les processus scientifiques et le contact avec la réa-

... à un modèle complexe

pour la majorité des professeurs en exercice les connaissances sont formelles et à transmettre aux élèves qui apprennent

pour les futurs professeurs les connaissances sont associées à des processus empiriques et pratiques

importance
du processus
inductif dans
l'apprentissage

lité" (Porlán, 1989, p. 402). Pourtant, les contenus continuent à occuper une position centrale dans l'enseignement. Ce qui semble remis en cause, pour les futurs professeurs, c'est la manière dont l'enseignant obtient que les élèves apprennent et, dans ce sens, ainsi que nous l'avons exposé plus haut, un processus inductif semble être la garantie pour l'obtenir. En définitive, les résultats confirment que la tendance majoritaire parmi les professeurs transfère l'empirisme scientifique au terrain didactique. C'est ainsi que le processus complexe d'enseignement-apprentissage se déroule à travers la participation des élèves qui réalisent des activités pratiques en contact avec la réalité et le laboratoire afin de remplacer leurs idées erronées par des idées exactes. Ces dernières seront, en dernière instance, expliquées par le professeur.

pas forcément
de cohérence
entre tous les
points de vue
considérés

Donc, comme nous l'avons dit, chacune des tendances détectées peut être envisagée comme une hypothétique progression dans la connaissance professionnelle relative aux connaissances scolaires qui intègre les différents niveaux de formulation que nous avons proposés tout au long de cet article. Il est nécessaire d'explicitier pourquoi ne s'établira pas forcément une cohérence entre tous les points de vue considérés. Par exemple, dans l'étude 4, il apparaît que les professeurs transfèrent l'empirisme scientifique à la méthodologie didactique, mais les contenus à enseigner ne sont pas une adaptation mais une reproduction simplifiée et encyclopédique des connaissances disciplinaires concernées.

3. LES OBSTACLES ÉPISTÉMOLOGIQUES DES PROFESSEURS

les conceptions
des professeurs
correspondent
à des stéréotypes
sociaux
dominants...

Les connaissances professionnelles "de fait" (ou conceptions des professeurs) que nous avons décrites ne sont pas le résultat de décisions libres et conscientes de chacun d'eux ; elles sont la conséquence du processus de socialisation et d'adaptation des enseignants à la culture scolaire traditionnelle, à la structure du poste de travail, au cursus de la matière, aux modèles de formation initiale et permanente et, en définitive, aux stéréotypes sociaux dominants concernant l'éducation et l'école.

... et révèlent
des "tendances-
obstacles"

En outre, les connaissances professionnelles "de fait" résultent de la juxtaposition de savoirs différenciés (savoirs académiques, savoirs basés sur l'expérience, routines et scénarios d'action et de théories implicites), ce qui leur donne des caractéristiques épistémologiques spécifiques que nous pouvons résumer dans les "tendances-obstacles" suivantes (présentes en chacun de nous dans des proportions

variées) (Young, 1981 ; Pope et Scott, 1983 ; Porlán, 1989 ; Martín, 1994b ; Porlán, Rivero et Martín, 1997).

- ***Tendance à la fragmentation et à la dissociation de la théorie et de l'action, de l'explicite et du tacite***

mépris
de la théorie

On agit en fonction de routines non fondées et peu réfléchies, on met en place des principes et des croyances en accord avec les évidences empiriques apparentes apportées par l'expérience, on méprise la théorie par rejet de l'académisme rationaliste et on ignore les modèles explicatifs du comportement professionnel.

- ***Tendance à la simplification et au réductionnisme***

vision superficielle
du processus
d'enseignement-
apprentissage

La fragmentation de la connaissance professionnelle "de fait" favorise une vision superficielle des processus d'enseignement-apprentissage qui empêche d'en reconnaître les variables les plus occultes (conceptions et obstacles des élèves, structure de pouvoir de la classe, comportement d'adaptation des élèves, etc.) et qui a pour conséquence une analyse simplificatrice des problèmes, de la prise de décisions et de l'intervention professionnelle.

- ***Tendance à la conservation-adaptative et rejet de l'évolution-constructive***

conservation
des principes
et actions
routiniers

La vision simplificatrice des processus d'enseignement-apprentissage provoque, et est provoquée par, l'attitude qui consiste à conserver ces principes et ces actions routiniers qui satisfont les "apparences" plus qu'ils ne correspondent à une simplification réelle. Ces principes et ces actions sont présents majoritairement dans les contextes scolaires : conserver la notation parce qu'elle mesure l'apprentissage réel des élèves, maintenir les examens parce que sinon, les élèves n'étudient pas, garder la disposition en files et des pupitres individuels parce que, de cette façon, les élèves sont attentifs, etc. Bien évidemment, cette attitude de conservation-adaptative est relativement incompatible avec les processus de remise en cause, de prise de conscience et de construction de connaissances et d'une action progressivement plus complexe qui répondent à la nature problématique, incertaine et également complexe des processus éducatifs.

- ***Tendance à l'uniformité et rejet de la diversité***

hégémonie
de certains
modèles
didactiques

Tout ce qui précède, la fragmentation des savoirs, la vision simplificatrice et l'immobilisme, a pour conséquence le fait que les croyances et les routines relatives à l'action tendent à l'uniformité individuelle et collective ; cela est à l'origine de l'hégémonie de certaines conceptions professionnelles et de certains modèles didactiques face à d'autres qui, à leur tour, rétroalimentent les tendances antérieures. La diversité et le contraste des points de vue professionnels basés sur la

résistance à la diversité	<p>recherche critique et rigoureuse posent, justement, la question de l'émergence de nouvelles connaissances professionnelles fondées sur des théories-pratiques qui expliquent et étayent les plans d'action à la vision moins réductrice et stéréotypée des processus d'enseignement-apprentissage, et qui impliquent une ouverture à l'expérimentation basée sur les dites théories en direction d'un changement progressif et graduel. Il est donc aisé de comprendre les résistances de nombreux professionnels à accepter en tant que normalité la diversité des modèles, conceptions et pratiques au sein d'un même cadre professionnel.</p>
conceptions méta-disciplinaires correspondant à une vision simple du monde	<p>Signalons enfin que l'on trouve, derrière tous ces obstacles, certaines connaissances professionnelles d'un niveau méta-disciplinaire, de sorte que les professeurs partagent souvent avec les élèves, <i>une vision simple du monde</i> (Nisbertt et Ross, 1980 ; Viennot et Kaminski, 1991 ; Garcia, 1995 ; Porlán et Martín, 1996 ; Rivero, 1996) dont les caractéristiques sont les suivantes.</p>
modèle d'organisation additif	<ul style="list-style-type: none"> • Un modèle additif d'organisation du milieu dans lequel la réalité est entendue comme une somme d'éléments, sans que soit reconnu le caractère organisateur des interactions. Ce modèle se manifeste dans l'idée cumulative et fragmentaire que l'on a de la science, dans la façon de considérer l'apprentissage comme une somme d'informations, ou d'identifier les contenus scolaires comme une somme de thèmes.
vision égocentrique	<ul style="list-style-type: none"> • Le centrage sur une vision égocentrique du monde, dans ce qu'il a d'évident, de perceptif, de familier et de proche, de sorte que les professeurs ne prennent en considération que les événements ou les processus les plus proches de leur expérience personnelle. Cette attitude suppose fréquemment un biaisement de confirmation (le professeur ne prend en compte que les faits, les facteurs et les données qui tendent à confirmer ses théories sur les particularités des phénomènes d'enseignement-apprentissage qu'il observe) et une tendance réductionniste dans le traitement des variables de l'activité éducative. En fin de compte, cela suppose que le savoir ne se négocie pas en cours dans la mesure où le professeur admet difficilement qu'un même fait peut être compris sous différents angles.
causalité mécaniste et linéaire	<ul style="list-style-type: none"> • L'ascendant d'une causalité mécaniste et linéaire, présente dans de multiples aspects de la connaissance professionnelle (l'apprentissage en tant qu'effet et l'enseignement en tant que cause ; les stratégies d'enseignement fermées, rigides et linéaires ; la pratique comme application de la théorie, etc.).
conception statique	<ul style="list-style-type: none"> • La conception statique du monde, imprégnée de fatalisme, qui s'exprime de différentes manières. Ainsi, par exemple, l'école est perçue comme une réalité immuable ; on croit en l'hégémonie permanente de l'enseignement traditionnel, on comprend les connaissances scolaires comme des connaissances absolues et fermées, ou l'on pense que les élèves ne peuvent changer dans la mesure où ils dépendent d'un déterminisme génétique ou lié au milieu.

4. QUELQUES IMPLICATIONS POUR LA FORMATION DES ENSEIGNANTS

nécessité
de la formation
pour faire évoluer
ces conceptions

Une fois signalées les caractéristiques les plus manifestes des conceptions scientifiques et didactiques des professeurs et des obstacles les plus importants, nous pouvons affirmer qu'il y a unanimité à considérer qu'une formation épistémologique des enseignants est une nécessité. Cette formation devrait faciliter l'évolution des conceptions décrites plus haut vers des positions plus relativistes, contextualisées, évolutives et, en définitive, plus complexes sur les différents types de connaissance qui se rejoignent dans le contexte scolaire. Cependant, de même que cela se produit avec d'autres besoins de formation, ceux-ci peuvent être compris dans la pratique d'une façon académiste, sans qu'il soit tenu compte d'un fait évident : il ne s'agit pas de former des épistémologues mais des professeurs.

un dispositif
de formation
organisé dans
"des espaces
de recherche
professionnelle"...

Notre propre expérience de formateurs montre que la remise en cause et le traitement des conceptions épistémologiques des professeurs ont recours, à travers la formation (initiale et permanente), à des stéréotypes concrets relatifs aux cursus qui, par la suite, seront expérimentés avec les élèves. Tout le dispositif de formation est organisé dans ce que nous appelons des "*espaces de recherche professionnelle*" (Grupo Investigación en la Escuela, 1991, vol. III) "*de sorte que des ensembles de problèmes, de connaissances et d'activités qui sont proposés soient le lien significatif entre les problèmes des professeurs et les problèmes importants de formation professionnelle*" (Porlán et al., 1996, p. 36). Notre travail actuel est orienté dans les directions suivantes :

... qui travaille
dans quatre
directions

1. Que savent et que devraient savoir les professeurs sur un objet d'étude déterminé du cursus scolaire ?
2. Que savons-nous et que devrions-nous savoir sur les idées des élèves ?
3. Qu'enseignons-nous et pourquoi ? Que devrions-nous enseigner à nos élèves ?
4. Comment enseignons-nous et comment devrions-nous enseigner à nos élèves ?

Pour chacune de ces directions, trois types d'informations sont proposés au formateur de professeurs (ou à l'équipe de professeurs en auto-formation) :

trois types
d'informations
proposés
au formateur

- a. une proposition de savoir professionnel qui implique une transition entre les conceptions et les obstacles les plus habituels parmi les enseignants avec lesquels nous travaillons et différentes positions plus évoluées qui répondent à divers itinéraires de formation, ainsi que les activités et les moyens pour les atteindre ;
- b. une information liée fondamentalement à la discipline, qui vient surtout de la didactique des sciences et qui concerne la problématique abordée dans chaque direction ;
- c. des études de cas dans lesquels sont décrites et analysées différentes pratiques de formation que nous avons menées avec les approches mentionnées dans a.

pour une
contribution
à la transformation
des pratiques
de formation...

... et une
rénovation
de l'enseignement
scientifique

Enfin, nous voulons exprimer notre désir et notre intérêt pour que la perspective épistémologique adoptée, parmi d'autres possibles, pour analyser le savoir professionnel des professeurs, contribue à transformer réellement nos propres pratiques dans le domaine de la formation des enseignants, en améliorant notre savoir professionnel ainsi que celui des professeurs en formation et en exercice qui travaillent avec nous. Nous espérons en outre qu'elle sera également utile au débat sur les problèmes professionnels des enseignants. Au-delà d'une récente curiosité intellectuelle pour la recherche éducative, les études sur les conceptions des professeurs doivent être un engagement entre chercheurs et enseignants à rénover l'enseignement de la science et des connaissances en contexte scolaire.

Rafael PORLÁN,
Eduardo GARCÍA GARCÍA
Ana RIVERO GARCÍA
Département de didactique des Sciences
Université de Séville
Rosa MARTÍN DEL POZO
Département de didactique des Sciences
expérimentales
Université Complutense de Madrid

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AGUIRRE, J.M., HAGGERTY, S.M., LINDER, C.J. (1990). "Student-teachers' conceptions of science, teaching and learning : a case study in preservice science education". *International Journal of Science Education*, 12 (4), 381-390.

ASTOLFI, J.-P. (1993). "Los obstáculos en el aprendizaje de conceptos en Ciencias : la forma de franquearlos didácticamente". In *Diez años de investigación e innovación en Enseñanza de la Ciencias*. Madrid : Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia. CIDE.

BAUCH, P.A. (1984). *The Impact of Teachers' instructional Beliefs on their Teaching : Implications for Research and Practice*. Réunion annuelle de la AERA, New Orleans, Avril.

BUITINK, J., KEMME, S. (1986). "Changes in Student-Teacher Thinking". *European Journal of Teacher Education*, 9 (1), 75-84.

COTHAM, J.C., SMITH, E.L. (1981). "Development and Validation of the Conceptions of Scientific Theories Test". *Journal of Research in Science Teaching*, 18 (5), 387-396.

ELBAZ, F. (1981). "The Teachers' Practical Knowledge : Report of a Case Study". *Curriculum Inquiry*, 11 (1), 43-71.

GALLAGHER, J.J. (1993). *Six Views of Teaching Science An Invitation to Reflection and Discussion*. Michigan State University. Document polycopié.

GARCÍA, J.E. (1995). "La transición desde un pensamiento simple hasta un pensamiento complejo en la construcción del conocimiento escolar". *Investigación en la Escuela*, 27, 7-20.

GIL, D. (1983). "Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias". *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), 26-33.

GIL, D. (1991). "¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? (Intento de síntesis de las aportaciones de la investigación didáctica)". *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 69-77.

GIMENO, J. (1988). *El currículum : una reflexión sobre la práctica*. Madrid : Morata.

GORDON, D. (1984). "The Image of Science, Technological Consciousness and Hidden Curriculum". *Curriculum Inquiry*, 14(4), 367-400.

GRUPO INVESTIGACIÓN EN LA ESCUELA. (1991). *Proyecto curricular "Investigación y Renovación Escolar" (IRES)*. (4 vol., version provisoire). Document interne.

GUSTAFSON, B.J., ROWELL, P.M. (1995). "Elementary preservice teachers : constructing conceptions about learning science, teaching science and the nature of science". *International Journal of Science Education*, 17(5), 589-605.

HALKES, R., DEJKERS, R. (1983). "Teachers' Teaching Criteria". In R. Halkes et J.K. Olson. *Teacher Thinking : a New Perspective on Persisting Problems in Education*. Lisse : Swets y Zeitlinger.

HASHWEH, M.Z. (1996). "Effects of Science Teachers' Epistemological Beliefs in Teaching". *Journal of Research in Science Teaching*, 33 (1), 47-63.

HEWSON, P.W., HEWSON, M.G. (1987). "Science teachers' conceptions of teaching : Implications for teacher education". *International Journal of Science Education*, 9(4), 425-440.

HOLLON, R.E., ANDERSON, Ch.W. (1987). *Teachers' beliefs abouts students' learning processes in science : self-reinforcing belief systems*. Texte présenté à la réunion annuelle de l'AERA, Washington, D.C.

KOULAUDIS, V., OGBORN, J. (1989). "Philosophy of science : an empirical study of teachers' views". *International Journal of Science Education*, 11(2), 173-184.

KOULAUDIS, V., OGBORN, J. (1995). "Science teachers' philosophical assumptions : how well do we understand them ?" *International Journal of Science Education*, 17(3), 273-283.

LEDERMAN, N.G. (1992). "Students' and Teachers' Conceptions of the Nature of Science : A Review of the Research ". *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.

MARTÍN DEL POZO, R. (1994a). "Tentative de définition d'un savoir professionnel sur le changement chimique pour la formation des enseignants". *Aster*, 18, 217-240.

MARTÍN DEL POZO, R. (1994b). *El conocimiento del cambio químico en la formación inicial del profesorado. Estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de los estudiantes de Magisterio*. Thèse de doctorat non éditée. Université de Séville.

MARTÍN DEL POZO, R. (1995). "El conocimiento escolar y profesional sobre el cambio químico en el diseño curricular Investigando Nuestro Mundo". *Investigación en la Escuela*, 27, 39-48.

NISBERTT, R., ROSS, R. (1980). *Human Inference. Strategies and Shortcoming of Social Judgement*. New York : Englanwood Cliff, Prentice Hall.

OSBERG, A. (1986). "Using Construct Theory as a Basis for Research into Teacher Professional Development". *Journal of Curriculum Studies*, 19(1), 55-65.

POPE, M., GILBERT, J. (1983). "Personal Experience and the Construction of Knowledge in Science". *Science Education*, 67(2), 193-203. (Trad. cast. "La experiencia personal y la construcción del conocimiento en Ciencias". In R. Porlán, J.E. García et P. Cañal. *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*. Sevilla : Díada, 1988).

POPE, M.L., SCOTT, E.M. (1983). "Teachers' Epistemology and Practice". In R. Halkes et J.K. Olson. *Teacher Thinking : a New Perspective on Persisting Problems in Education*. Lisse : Swets y Zeitlinger. (Trad. cast. " La epistemología y la práctica de los profesores ". In R. Porlán, J.E. García et P. Cañal. *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*. Sevilla : Díada, 1988).

PORLÁN, R. (1989). *Teoría del conocimiento, teoría de la enseñanza y desarrollo profesional. Las concepciones epistemológicas de los profesores*. Thèse de doctorat. Université de Séville.

PORLÁN, R. (1993). *Constructivismo y Escuela*. Sevilla : Díada.

PORLÁN, R. (1994). "Las concepciones epistemológicas de los profesores : el caso de los estudiantes de Magisterio". *Investigación en la Escuela*, 22, 67-84.

PORLÁN, R. (1995). "Las creencias pedagógicas y científicas de los profesores". *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3 (1), 7-13.

PORLÁN, R., LÓPEZ, J.I. (1993). "Constructivismo en Ciencias : pensamiento del alumnado versus pensamiento del profesorado". *Qurrriculum*, 6-7, 91-107.

PORLÁN, R., MARTÍN, J. (1991). *El diario del profesor. Un recurso para la investigación en el aula*. Sevilla : Díada.

PORLÁN, R., MARTÍN DEL POZO, R. (1996). "Ciencia, Profesores y Enseñanza : unas relaciones complejas". *Alambique*, 8, 23-32.

PORLÁN, R., AZCÁRATE, P., MARTÍN DEL POZO, R., MARTÍN, J., RIVERO, A. (1996). "Conocimiento profesional deseable y profesores innovadores : Fundamentos y principios formativos". *Investigación en la Escuela*, 29.

PORLÁN, R., RIVERO, A., MARTÍN DEL POZO, R. (1997). "Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I : Teoría, métodos e instrumentos". *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 155-171.

RIVERO, A. (1996). *La formación permanente del profesor de ciencias de la Educación Secundaria Obligatoria : un estudio de caso*. Thèse de doctorat. Université de Séville.

SMITH, D., NEALE, D. (1991). "The Construction of Subject-Matter Knowledge in Primary Science Teaching". In J. Brophy (Ed.). *Advances in Research on Teaching*. Vol. 2. JAI Press.

VICTOR, J.B. (1976). "Relation between Teacher Belief and Personality in Four Samples of Teacher Trainees". *Journal of Experimental Education*, 45, 4-9.

VIENNOT, L., KAMINSKI, W. (1991). "Participation des maîtres aux modes de raisonnement des élèves". *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 3-9.

WEHLING, L.J., CHARTERS, W.W. (1969). "Dimensions of Teacher Beliefs about the Teaching Process". *American Educational Research Journal*, 6(1), 7-30.

YOUNG, R.E. (1981). "A Study of Teachers Epistemologies". *The Australian Journal of Education*, 25(2), 144-194.