

ÉDITORIAL

L'origine de ce numéro est liée aux rapports privilégiés existant entre les équipes rédactionnelles de deux revues européennes traitant de la didactique des Sciences : *Investigación en la Escuela* et *Aster*. Soucieuses d'ouverture européenne, ces deux rédactions ont souhaité réaliser une publication commune à paraître pour chaque revue dans sa langue.

La réalisation conjointe avec la revue espagnole correspond donc à la première partie qui est le dossier central présentant différents éclairages européens sur les recherches en didactique des sciences expérimentales et technologiques et sur leur articulation avec les problèmes d'enseignement et de formation.

Les deux autres parties enrichissent cette approche internationale :

- d'une part en rendant accessibles à des lecteurs francophones une sélection d'articles déjà parus en Europe dans une autre langue que le français ;
- d'autre part en présentant des revues européennes s'intéressant à la didactique des sciences.

Première partie : publication avec *Investigación en la Escuela*

Investigación en la Escuela est l'organe de diffusion d'un groupe de professeurs de différents niveaux du système éducatif, liés au département de didactique des Sciences de Séville et préoccupés par les changements et transformations des pratiques de l'enseignement et de l'apprentissage, leur idée directrice étant de fonder ces pratiques sur des activités d'investigation des professeurs comme des élèves.

Diffusée depuis sept ans, cette revue présente des réflexions, des recherches et des expériences pédagogiques concernant l'apprentissage pas seulement des sciences expérimentales mais aussi d'autres disciplines comme les mathématiques et les sciences humaines.

Pendant ces années, la rédaction s'est efforcée de mettre en lumière et de traiter des problèmes importants, par exemple :

- qu'est-ce que les disciplines peuvent apporter à la formation du citoyen ?
- quels sont les concepts et processus scientifiques les plus pertinents pour favoriser chez les élèves une meilleure compréhension et transformation du réel ?
- quelles stratégies et méthodes d'enseignement-apprentissage garantissent une construction personnelle et sociale des connaissances ?

En liaison avec ces problèmes, la rédaction a choisi de présenter et d'approfondir les principes et les concepts qui, repris dans une perspective didactique, constituent les fondements de nombreuses expériences pédagogiques, recherches et réflexions plus générales :

- les représentations des élèves ;
- l'idée d'obstacle associée à l'apprentissage et à l'enseignement ;
- la problématisation des contenus ;
- la prise en compte du développement professionnel des enseignants dans les propositions de changement curriculaire ;

- la théorisation des modèles didactiques ;
- le point de vue constructiviste complexe et critique.

À la lumière de cette présentation d'*Investigación en la Escuela* on peut voir que sur bien des points les objectifs de cette revue rejoignent ceux d'*Aster* et on comprend pourquoi, depuis longtemps, de nombreux échanges personnels et académiques ont tissé des liens entre nos deux rédactions, qui se concrétisent ici.

Le dossier élaboré en commun sur la didactique des sciences en Europe comprend six articles abordant le sujet sous différents éclairages.

Le premier présente une réflexion épistémologique à travers l'analyse contrastée de six publications - en langue française - de recherches en didactique des sciences (cinq françaises, une belge).

Le second est une présentation actualisée de la recherche sur l'enseignement des sciences en Angleterre, et de ses perspectives en relation avec la vague de changements qui affecte le système éducatif de ce pays.

Les quatre suivants sont des propositions espagnoles et française issues des résultats des recherches en didactique des sciences et de la technologie. Elles concernent :

- le savoir professionnel souhaitable pour les enseignants en sciences ;
- la formation des professeurs de technologie ;
- la construction de curricula interdisciplinaires et la formation des enseignants en général ;
- l'apport d'un modèle de résolution de problème au paradigme constructiviste de l'apprentissage des sciences.

Nos deux rédactions sont bien conscientes que ce panorama n'est que partiel mais nous souhaitons que cette première réalisation commune ouvre la voie à des coopérations internationales plus larges et plus ambitieuses.

Seconde partie : sélection d'articles européens re-publiés en français

Nous avons souhaité rendre disponibles pour des lecteurs francophones des textes publiés dans d'autres langues, dans des revues européennes.

Notre choix, nécessairement très incomplet, repose avant tout sur un souci de présenter une variété de travaux récents.

Variété des enseignements scolaires concernés :

- écologie ;
- enseignement technologique ;
- physique ;
- sciences intégrées.

Variété des objets de recherche :

- analyse épistémologique de disciplines scolaires en pleine évolution et de leurs relations avec les savoirs sociaux ;
- caractérisation de modèles de conceptions à propos d'un phénomène physique ;
- mise à jour des conceptions épistémologiques implicites d'enseignants de science ;

Variété des méthodologies :

- analyse théorique ;
- modalités diverses d'enquêtes par entretiens et questionnaires.

Variété des questions motivant ces recherches :

- comment définir des contenus nouveaux et des formations qui en même temps que la construction de connaissances théoriques visent la construction de connaissances pratiques, de compétences et d'attitudes ?
- comment tenir compte des idées des élèves dans l'enseignement ?
- quelles sont les conceptions des enseignants et comment interviennent-elles lorsqu'il s'agit de changer les programmes scolaires ?

Troisième partie : quelques revues européennes

Nous présentons ici un certain nombre de revues européennes de recherche sur l'enseignement des sciences expérimentales ou de revues professionnelles éditées par des associations d'enseignants qui consacrent une part de leurs publications aux travaux de recherche.

Cette présentation a été facilitée par la tenue d'une rencontre internationale des éditeurs de revues sur l'enseignement scientifique organisée par *La Fisica nella Scuola* (Gaeta, 1993) ; les textes décrivant les objectifs des revues sont tirés du document préparatoire à la rencontre avec l'accord des rédactions et des organisateurs de la rencontre, et tout particulièrement de Luisa Viglietta et Michela Michelini, que nous remercions vivement.

Elle est loin d'être exhaustive. Elle pourra être complétée et enrichie dans les numéros suivants d'*Aster*.

Nous renouvelons ici le voeu que cette contribution à une approche européenne de la didactique des sciences soit suivie de nombreuses autres ouvrant des collaborations internationales encore plus larges sur les problèmes d'éducation.

Mirtha BAZAN
Éliane DAROT
Anne VÉRIN

DIDACTIQUE PLURIELLE DES SCIENCES

Analyse contrastée de quelques publications de recherche

Jean-Pierre Astolfi,
et le Séminaire de l'Unité
de Didactique des Sciences
expérimentales de l'INRP

Les publications de didactique des sciences se multipliant rapidement, il est aujourd'hui possible de se construire une image de la signification de ce domaine de recherche. Ce texte constitue un essai de prise de recul pour analyser comment fonctionne ce champ, sur quelles règles il s'appuie et à quelles régularités il obéit. Six publications, choisies pour leurs contrastes (au sein toutefois du cadre d'ensemble qui s'est dégagé en langue française ces dernières années), y sont analysées à partir des mêmes questions problématiques, dans le but de décrire - brièvement mais systématiquement - une diversité de recherches dans leur fonctionnement. Une certaine connaissance préalable des travaux évoqués sera sans doute nécessaire pour que le lecteur entre dans les analyses proposées. La perspective n'est pas celle d'une tentative de normalisation mais plutôt celle d'un « éloge raisonné de la différence ». Il s'agit là d'une contribution à l'épistémologie de la didactique, qui devra être reprise, amplifiée et faire l'objet de débats.

Face au développement actuel de la didactique des sciences, ce texte cherche à opérer un détour pour analyser le fonctionnement de ce champ, les règles sur lesquelles il s'appuie, les régularités auxquelles il obéit. Pour dégager aussi des contrastes quant à la diversité des façons d'y conduire les recherches. Il doit être lu comme une simple tentative, fruit de la réflexion commune d'un séminaire interne de l'unité de didactique des sciences de l'INRP (1), au cours des années 1992 et 1993. Nous sommes parfaitement lucides sur le fait que la tentative est risquée, dans la mesure où elle est largement interprétative. Inévitablement, elle méritera des reprises et des approfondissements, sinon des rectifications.

Pourtant, la diffusion de ce point de vue, tel quel, nous a semblé utile pour permettre de fonder des débats de nature méthodologique, dont il ne nous semble pas qu'ils soient si fréquemment abordés. Nous voudrions ainsi contribuer, un tant soit peu, à l'épistémologie de la recherche en didactique des sciences, à une réflexion sur les paradigmes qui y fonctionnent, le plus souvent avec beaucoup d'implicites.

une contribution
à l'épistémologie
de la recherche
en didactique
des sciences

(1) Les participants de ce séminaire étaient : Jean-Pierre Astolfi, Mirtha Bazan, Alain Chomat, Éliane Darot, Pierre Fillon, Victor Host, Alain Monchamp, Brigitte Peterfalvi, Dominique Rebaud, Guy Rumelhard, Marie Sauvageot-Skibine, Anne Vérin.

LE CADRE DU TRAVAIL

ni critique,
ni normatif

Étant donné le caractère exploratoire de cette réflexion, nous n'avons visé nulle exhaustivité, mais plutôt retenu quelques exemples contrastés dans la littérature française, que nous avons analysés en construisant et en faisant fonctionner les mêmes catégories d'analyse. Ce faisant, le travail ne présente aucune visée critique, même si, inévitablement, le point de vue des auteurs, eux-mêmes acteurs de cette communauté de recherche, peut ici ou là transparaître. Il vise encore moins à être normatif, ne cherchant aucunement à « faire la police » (scientifique bien sûr...) dans le champ. Au contraire, il souhaiterait plutôt encourager et justifier la diversité nécessaire des types de recherche, dès lors qu'on fait effort pour mettre les choses à plat, pour dégager des configurations et des écarts, mais aussi des recoupements imprévus qui puissent servir à d'autres analyses.

Le choix des textes analysés

Nous avons sélectionné assez empiriquement cinq publications de recherche assez contrastées, dans l'espoir de faire fonctionner avec diversité nos catégories d'analyse. Nous voulions des textes qui répondent aux caractéristiques suivantes :

- rendre compte effectivement de résultats de recherches conduites ;
- offrir à la fois un cadre théorique suffisamment formalisé et un contenu empirique ;
- obéir *a priori* à des conceptions et modes de fonctionnement différents, sur les plans méthodologique et épistémologique.

des textes
illustrant la
conception
française de la
didactique

Insistons sur le fait que ce sont bien les publications qui sont l'objet de l'étude, et non pas leurs auteurs, ceux-ci pouvant avoir développé d'autres orientations de recherche dans des contextes différents. Le lecteur pourra constater que nous nous sommes limités à des productions en langue française. C'est évidemment une facilité que nous nous sommes accordée, et qui ne nous a pas semblé trop gênante étant donné la nature prospective du travail. Mais c'est surtout que la conception française de la didactique s'est développée ces dernières années sur une base originale, avec ses concepts propres. D'autres écrits, anglo-saxons ou germaniques notamment, nous paraissent relever d'autres cultures de recherche, et le mot *didactique* n'y a pas vraiment la même acception.

Dans la liste des publications retenues figure, outre des ouvrages publiés en didactique des sciences, un texte de didactique des mathématiques qui fait référence dans son domaine et dont l'influence est nette sur certaines produc-

tions des sciences expérimentales. Nous nous sommes permis de soumettre également à cette analyse une recherche développée actuellement dans notre équipe, sur la base des documents de travail provisoires disponibles.

Ce qui nous donne la liste suivante :

- Samuel JOHSUA, Jean-Jacques DUPIN (1989). *Représentations et modélisations : le « débat » scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique.*
- Guy CALANDE, Cécile DE BUEGER-VANDER BORGHT, Sabine DARO, Jos NUTTIN, Lucien VANHAMME (1990). *Plaisirs des sciences. Didactique des sciences et autonomie dans l'apprentissage. L'immunologie : un prétexte.*
- Jean-Louis MARTINAND (1986). *Connaître et transformer la matière.*
- Guy BROUSSEAU (1986). "Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques", *in* : *Recherches en didactique des mathématiques*, 7.2.
- Guy RUMELHARD (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement.*
- Brigitte PETERFALVI (dir.) (en cours). *Recherche sur les objectifs-obstacles et les situations d'apprentissage autour du concept de transformation de matière (ROOSA).*

Les questions problématiques

À l'occasion de la lecture comparée de ces publications, nous avons progressivement élaboré sept questions problématiques, qui nous ont paru intéressantes pour bien rendre compte de la diversité des paradigmes de recherche. Et nous nous sommes efforcés d'établir comment chaque recherche peut être située par rapport à chacune des questions. C'est ici que la prudence s'impose et que la part interprétative sera non négligeable. Car, si certaines questions ont pu être traitées avec les données contenues dans les textes des chercheurs, pour d'autres il a été nécessaire de procéder à des inférences interprétatives que nous livrons comme telles, qui ne figurent pas directement dans les textes, mais qui ont pu être étayées par ce que nous savions par ailleurs des positions des auteurs. La théorisation des divers projets de recherche est en effet très inégalement développée, pouvant faire l'objet de larges développements ou rester fortement dans l'implicite.

Nous nous sommes pourtant efforcés, au mieux du possible, de rester proches des données analysées. Rappelons, encore une fois, que les publications retenues l'ont été à titre « prototypique » pour que l'analyse soit assez concrètement fondée, mais qu'en réalité notre but, à terme, concerne une meilleure caractérisation des recherches en didactique des sciences.

situer chaque
recherche par
rapport à sept
questions

(1) *Les problèmes de l'enseignement scientifique qui motivent la recherche*

la recherche n'est jamais gratuite

La première question que nous nous sommes posée concerne les relations qu'entretient la recherche didactique avec les problèmes de l'enseignement des sciences. L'hypothèse qui nous a ici guidés est que d'une certaine manière, la recherche n'est jamais « gratuite », même quand elle se veut purement descriptive. L'histoire fait déjà percevoir que ces liens existent et que la recherche naît, plus souvent qu'on ne le dit, sur la base d'une entreprise d'innovation ou de renouvellement curriculaire, avec les besoins de formation qui leur sont associés.

elle part d'un problème rencontré par la pratique

L'idée est qu'au-delà de la liberté du chercheur et du « détour » qu'est nécessairement toute recherche, il doit être possible d'identifier - voire de reconstituer - un problème rencontré par la pratique, qui lui sert de fondement originnaire. Cela ne signifie aucunement que les questions de recherche soient situées dans le droit fil des problèmes pratiques. Au contraire, on sait bien ce que la didactique doit, en règle générale, opérer comme **rupture** avec la compréhension pédagogique quotidienne, mais cela n'empêche pas de tenter de retrouver la « trace » de ce qui a pu initialement (et peut-être inconsciemment) orienter l'intérêt de recherche dans telle direction. Mais selon les recherches, l'aspect critique des pratiques existantes d'enseignement est plus ou moins développé, plus ou moins explicite.

(2) *Le choix du contenu d'enseignement*

les raisons des choix de contenu peuvent diverger

Une autre question, plus naturelle peut-être, concerne le statut du contenu d'enseignement sur lequel porte la recherche. *A priori*, ce contenu occupe une position centrale si l'on admet que le critère majeur qui oppose la didactique à la pédagogie, c'est justement ce fait de prendre comme point de vue directeur de la recherche celui des contenus. Pourtant, il semble que leur prégnance, et surtout la raison de leur sélection, puissent être assez divers selon les publications. Ainsi, la situation des concepts immunologiques dans l'ouvrage de Calande et al. (les auteurs parlent eux-mêmes d'un *prétexte*) n'est pas la même que celle des concepts génétiques chez Rumelhard.

(3) *L'objet de la recherche*

dégager des invariants

Toute recherche vise à dégager de la diversité des situations analysées, des éléments aussi « invariants » que possible, dont on puisse dire qu'ils construisent de nouveaux savoirs. La diversité des sciences humaines montre que ces savoirs peuvent être d'ordres très divers, et cela est constitutif même de chacune des disciplines. Mais dans tous les cas, quelque chose a pu être stabilisé, qui permet de reconnaître une structure, de décrire un ordre ou de donner du sens, là où régnait en apparence un désordre anémique. C'est ce que nous nous efforcerons de dégager.

des situations didactiques qui diffèrent suivant les recherches

L'objet de la recherche peut être la description de situations d'enseignement courantes dont on cherche à faire ressortir certaines caractéristiques nouvelles ou l'élaboration de séquences didactiques d'un certain type, ou encore la construction d'outils, d'indicateurs, de modèles... Il peut aussi avoir une visée, plus théorique, d'analyse *a priori* de la matière enseignée, avec son histoire et son épistémologie.

(4) *Les méthodologies de recherche*

Ce point concerne la diversité des types de recherches ainsi que leurs méthodologies d'analyse, mais aussi la nature des rapports qui s'établissent entre les chercheurs et les acteurs du système didactique.

(5) *Les concepts didactiques centraux*

des concepts élaborés par la recherche ou antérieurement

On identifiera ici les concepts didactiques qui fonctionnent dans la recherche et servent de grille pour la lecture des données empiriques, ou pour l'élaboration de nouvelles situations didactiques. Pour fixer les idées, citons ceux de **transposition didactique**, de **représentation** ou d'**objectif-obstacle**, bien développés ces dernières années. Il peut s'agir soit de concepts spécifiquement élaborés dans le cadre de la recherche, soit d'emprunts explicites à un champ théorique extérieur, soit tout simplement de concepts en usage qui peuvent être repérés.

(6) *Les produits de la recherche*

« objets trouvés » de nature très variable

Toute recherche - en tout cas toute recherche aboutie qui fait l'objet d'une publication - doit conduire à trouver quelque chose ! Il s'agira donc ici de voir comment ont été construits des produits et des résultats plus ou moins conformes à ce qui en était attendu au point (3). Évidemment, la nature de ces « objets trouvés » par la recherche peut être excessivement variable. Il peut s'agir de résultats empiriques, qualitatifs ou quantitatifs, ou de l'interprétation des données analysées. Il peut s'agir aussi d'une production à caractère théorique, sous forme d'un concept nouveau, décrit ou rectifié sur la base d'exemples traités.

(7) *Les orientations propositionnelles pour l'enseignement*

les caractéristiques de l'enseignement issu de la recherche

Cette dernière question fait écho à la première, mais pourtant s'en distingue. Il ne s'agit plus d'examiner l'enseignement à l'**amont**, avec les problèmes qu'il pose et qu'il faut transformer en question de recherche, mais l'enseignement à l'**aval**. On s'interrogera donc ici sur les caractéristiques que présente (ou présenterait) un enseignement scientifique issu de la recherche, ou inspiré par elle. Là encore, nous prendrons quelquefois le risque de « faire parler » les publications plus qu'elles n'en disent explicitement, dans la perspective d'un débat ouvert.

LES « FICHES DE LECTURE »

Nous nous proposons de reprendre maintenant sous forme de « fiches de lecture » les six textes retenus que nous soumettrons systématiquement aux questions problématiques définies ci-dessus.

Samuel JOHSUA, Jean-Jacques DUPIN

Représentations et modélisations : le « débat » scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique

Berne : Peter Lang, 1989

Présentation succincte

De nombreuses études antérieures ont mis en évidence le rôle joué par les conceptions premières des élèves dans les apprentissages scientifiques. Celles-ci peuvent se constituer en véritables obstacles épistémologiques, particulièrement résistants et durables. Les auteurs s'attachent à clarifier les contraintes qui pèsent sur l'enseignement de la physique, pour délimiter un espace de choix possibles. L'ouvrage rend compte d'une expérimentation didactique concernant l'enseignement de l'électrocinétique à des niveaux élémentaires (élèves de 11 à 14 ans). Après la présentation d'hypothèses didactiques générales sur la transmission des connaissances et les représentations, est conduite une étude précise des modes de raisonnement des élèves concernant le domaine traité. L'expérimentation didactique porte essentiellement sur l'introduction d'une physique explicative par le biais de nouvelles modélisations proposées, sur les modalités d'un débat véritable dans la classe et sur la modification du rapport à l'expérimental.

(1) Problèmes de l'enseignement scientifique

Les auteurs s'appuient sur des recherches antérieures qui ont permis d'établir un constat largement partagé : de nombreux obstacles épistémologiques résistent à l'enseignement d'une façon diachronique. Selon eux la raison de cette résistance serait que les modalités classiques d'enseignement n'en nécessitent pas le dépassement par les élèves, voire qu'elles créent elles-mêmes des obstacles didactiques surnuméraires.

(2) Choix du contenu d'enseignement

Le choix a été fait d'un contenu assez délimité du point de vue des programmes, dont on sait qu'il fait difficulté pour les pratiques d'enseignement classiques (l'électrocinétique). Mais c'est un contenu au sujet duquel des résultats de recherche sont déjà disponibles, lesquels permettent de mieux cerner des « noeuds de difficulté » et des obstacles à travailler et ainsi d'avancer davantage dans des traitements didactiques alternatifs.

(3) Objet de la recherche

L'objet de la recherche consiste à mettre au point des situations didactiques nouvelles, précisément centrées sur des obstacles que l'enseignement tend d'ordinaire à contourner sinon à développer. Les auteurs décrivent rigoureusement les stratégies didactiques développées, de telle sorte qu'elles soient reproductibles (perspective d'ingénierie didactique).

(4) Méthodologies de recherche

L'élaboration des séquences didactiques est conduite en liaison étroite avec des enseignants associés, responsables de leur classe. Une large part de la conception semble revenir au chercheur, dont les propositions organisent le travail, même s'il est à l'écoute de l'accueil qu'elles reçoivent comme des réserves qu'elles suscitent.

(5) Concepts didactiques centraux

Un certain nombre de concepts sont empruntés à la didactique des mathématiques, et appliqués ici de façon souple pour celle de la physique. Par exemple, il est largement fait usage de l'idée que l'enseignant est tributaire d'un **système didactique**, qui pèse largement sur lui et surdétermine largement ses actions et décisions. Le concept de **contrat didactique**, au sens très particulier qui lui a été donné en mathématique en est le corollaire.

Les auteurs dénoncent par ailleurs l'idéologie empiriste qui règne encore dans l'enseignement des sciences physiques. Ils récuse qu'existe une méthode « naturelle » d'apprentissage, prétendu reflet silencieux de la « méthode de découverte ». Ils privilégient une hypothèse d'artificialité de la situation didactique, ce qui les ouvre à l'usage de modélisations originales. Ils s'efforcent d'introduire le « débat scientifique » dans les classes, préférant la validation à la monstration.

(6) Produits de la recherche

Une organisation de séquences est construite, qui permet l'élaboration d'une modélisation originale des circuits électriques (analogie du train). Ce modèle est créé *de novo* pour les besoins didactiques sans présenter d'équivalent dans la science achevée et la recherche en montre l'efficacité d'usage.

(7) Orientations propositionnelles pour l'enseignement

L'enseignement scientifique peut faire son profit de « bonnes » situations didactiques, que la recherche a précisément permis de « calibrer », en empêchant le fréquent contournement des obstacles par les élèves. Une vigilance particulière est accordée aux obstacles didactiques, afin d'éviter que les élèves ne soient conduits à mobiliser des analogies spontanées, dont on sait qu'elles font facilement obstacle. L'important, c'est que l'enseignement construise correctement quelques concepts physiques, d'une manière suffisamment opératoire pour que les élèves saisissent à cette occasion ce qu'est vraiment la physique.

Guy CALANDE, Cécile DE BUEGER-VANDER BORGHT et al.
*Plaisirs des sciences. Didactique des sciences
 et autonomie dans l'apprentissage*
L'immunologie : un prétexte
 Bruxelles, Paris : De Boeck / Éd. Universitaires. 1990

Présentation succincte

Cet ouvrage s'inscrit dans la perspective d'une pratique de classe ayant pour objectif de former l'élève à décoder et à gérer les informations scientifiques transmises par différentes sources. Les auteurs se sont centrés sur l'enseignement de la biologie, et plus particulièrement sur l'élaboration et l'expérimentation d'une démarche didactique consacrée à l'immunologie. Cette démarche, dont le compte rendu constitue l'essentiel de l'ouvrage, consiste en une suite de situations d'enseignement permettant une confrontation entre l'apport d'informations déjà élaborées et le « déjà-là » de l'élève, situations qui utilisent les potentialités de la classe (produire des idées, communiquer, décider ...) et respectent les rythmes et les styles de travail propres à chacun. Différents aspects de l'enseignement « traditionnel » apparaissent remis en question, notamment le rapport qu'enseignants et élèves entretiennent habituellement avec le savoir.

(1) Problèmes de l'enseignement scientifique

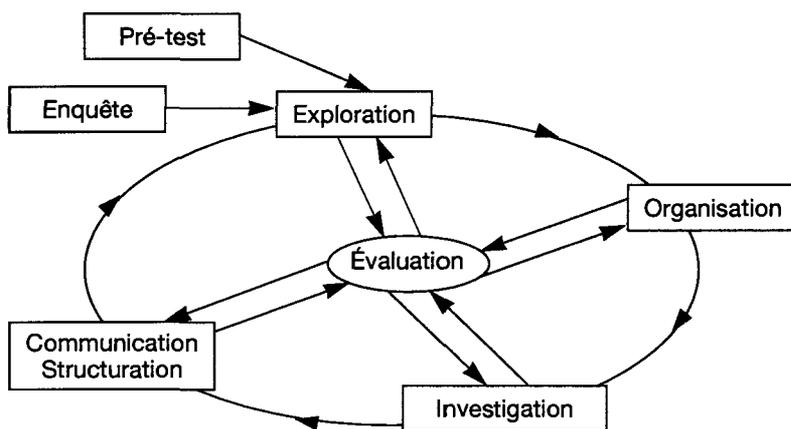
Le problème pointé est que les connaissances scientifiques des élèves sont insuffisamment ancrées dans leur savoir personnel et social, si bien que la formation scientifique ne les conduit pas à être capables d'extraire des problèmes scientifiques des situations vécues. Du coup, cela génère chez eux un certain désintérêt.

(2) Choix du contenu d'enseignement

Le contenu est explicitement choisi comme un « prétexte », particulièrement favorable pour traiter, à travers un contenu scientifique précis (ici l'immunologie), des capacités générales qui sont actualisées dans ce domaine et qui mettent en jeu des savoirs personnels et sociaux. Le point de vue est donc plutôt méthodologique et ne vise pas à introduire une discussion critique du savoir établi.

(3) Objet de la recherche

On vise à élaborer un modèle d'enseignement, qui fonctionne sur une période relativement longue. Plusieurs modes d'activité didactique sont distingués, et intégrés dans un modèle qui est expérimenté dans les classes. Le projet a une finalité propositionnelle, l'expérimentation visant surtout à exemplifier le modèle, à le faire « tourner ».



(4) Méthodologie de recherche

Il s'agit d'une forme de recherche-action, développant des « innovations contrôlées ». Une proposition initiale est faite pour planifier les actions didactiques, sur la base de laquelle l'inventivité didactique des enseignants est largement sollicitée en vue de la mise en œuvre, avec le souci d'une diversité de variantes. L'ensemble des essais est capitalisé et récapitulé, par l'usage des mêmes descripteurs, permettant de réaliser ce que les linguistes nommeraient un processus de « tabularisation » (mise en tables ou en tableaux).

(5) Concepts didactiques centraux

Les concepts mis en avant portent sur des **capacités transversales** du questionnement scientifique et de l'investigation autonome (exploration, organisation, structuration, communication), ce qui est en relation avec le caractère **prétexte** du contenu. De même est au cœur du travail l'idée d'un **ancrage fonctionnel** dans les problèmes quotidiens de vie et de société en rapport avec le savoir scientifique (rapport expert-citoyen).

(6) Produits de la recherche

C'est la faisabilité d'une démarche pédagogique - expérimentée en grandeur réelle - qui se trouve affinée par les essais didactiques, autour d'un modèle initial d'activités successives. Les auteurs illustrent, sur des exemples précis, ce que les hypothèses initiales promouvaient, avec les réussites de fonctionnement et les problèmes posés. Ce que produit la recherche c'est l'organisation d'un ensemble structuré et raisonné de séquences, davantage peut-être que la construction de séquences particulières.

(7) Orientations positionnelles pour l'enseignement

L'enseignement valorisé par ce travail s'appuie sur une démarche qui recherche davantage les continuités que les ruptures entre la science et la vie quotidienne. La dimension constructiviste de l'apprentissage porte davantage sur le sujet apprenant, avec ses étapes intellectuelles et ses processus, que sur l'objet d'enseignement (nécessité d'une investigation personnelle, construction de références pour analyser les problèmes de vie à partir d'un cadre scientifique).

Jean-Louis MARTINAND

Connaitre et transformer la matière

Berne : Peter Lang, 1986

Présentation succincte

L'ouvrage s'appuie sur trois études de cas : un projet d'initiation aux techniques de fabrication mécanique, la notion d'élément dans le programme de chimie de cinquième et un projet d'initiation aux propriétés mécaniques des matériaux. L'auteur y précise les problèmes qui se posent lorsqu'on cherche à expliciter la signification d'intentions générales lors de choix de contenus d'enseignement, lorsqu'on veut passer du programme officiel à l'élaboration détaillée du contenu conceptuel correspondant, lorsqu'on veut déterminer les buts et phases d'une progression. Les réponses apportées sont d'abord conceptuelles puisque l'auteur remet en question le mode habituel de caractérisation des objectifs (il propose de passer d'objectifs possibles à la notion d'objectif-obstacle) et introduit le concept de pratiques sociales de référence pour penser des situations didactiques diversifiées pour la première initiation scientifique, à l'école élémentaire et au collège. Des essais en situation didactique ont permis cette élaboration et appuient les propositions présentées.

(1) Problèmes de l'enseignement scientifique

Les activités scolaires sont trop exclusivement référées au savoir universitaire, ce qui les limite à un spectre étroit de possibles. Cette limitation du savoir à une forme académique appauvrie, dont l'univers social est exclu, conduit à négliger des objectifs importants, peut-être même parmi les plus essentiels.

(2) Choix du contenu d'enseignement

L'introduction d'objets d'enseignement nouveaux (les techniques de fabrication mécanique, l'élément chimique, la dureté), a été choisie parce qu'ils empêchent de laisser jouer, comme ailleurs, les traditions pédagogiques. Ils permettent de poser d'une façon démonstrative et aigüe certains problèmes de recherche.

(3) Objet de la recherche

L'objet de la recherche est de voir comment introduire en classe de nouvelles pratiques sociales, susceptibles de servir de référence pour l'enseignement. C'est aussi de rechercher des outils et des indicateurs qui permettent aux enseignants de prendre des décisions didactiques mieux fondées, concernant :

- l'interprétation des difficultés que rencontrent les élèves aux prises avec une tâche ;
- les décisions curriculaires (au moment de la préparation) ;
- les interventions individualisées auprès des élèves pour qu'elles soient pertinentes en regard des transformations intellectuelles visées.

(4) Méthodologies de recherche

Le travail s'appuie sur des « essais-évaluation » effectués avec des enseignants volontaires. Diverses informations sont prélevées sur les caractéristiques de ces séances ainsi que sur la façon dont elles ont été perçues par les enseignants.

(5) Concepts didactiques centraux

Plusieurs concepts didactiques ont été élaborés et testés à propos de cette recherche, notamment ceux d'**objectif-obstacle**, de **pratiques sociales de référence**, et de **modes d'activité didactique**. Ces concepts visent, sur la base des exemples analysés par la recherche, à promouvoir et générer de nouvelles situations didactiques.

(6) Produits de la recherche

Ces concepts créés *de novo* constituent les véritables produits de la recherche. Ils sont utilisés pour mieux conceptualiser les deux axes majeurs de la didactique : celui qui concerne les prises de décisions pédagogiques et les modalités d'intervention auprès des élèves, celui qui oriente les décisions de nature curriculaire.

(7) Orientations propositionnelles pour l'enseignement

L'idée est que l'enseignement scientifique (école et début du collège) ne peut pas s'organiser autour d'un programme rigide et fermé. Mais pour rester « ouvert », il faut mettre à la disposition des enseignants des instruments qui facilitent décisions et régulations.

Guy BROUSSEAU

“Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques”,
in : *Recherches en didactique des mathématiques*, 7.2
 Grenoble : La Pensée sauvage. 1986

Présentation succincte

Ce long article constitue en réalité le chapitre théorique de la thèse défendue par l'auteur, qui présente de façon synthétique la problématique de la didactique des mathématiques telle qu'il l'a définie et qui donne sens aux diverses études de cas. Sont d'abord définis un certain nombre de phénomènes didactiques fréquents qui affectent les situations d'enseignements (« effets »). Pour optimiser les apprentissages mathématiques, l'auteur propose les éléments théoriques, en introduisant les idées de contrat didactique et de dévolution dont il souligne les paradoxes. Une modélisation des situations didactiques et a-didactiques est ensuite présentée, autour de la théorie des jeux, montrant les transformations du statut des concepts mathématiques au cours du déroulement didactique (théorie des situations didactiques).

(1) Problèmes de l'enseignement scientifique

Le fonctionnement scolaire des savoirs est analysé au travers d'un certain nombre d'« effets », que l'auteur a nommé *effet Topaze*, *effet Jourdain*, *effet Dienes*, *glissement métacognitif*... Ces effets provoquent des sortes d'évitement de l'apprentissage et ils empêchent les élèves de disposer d'un savoir mathématique à dimension opératoire.

(2) Choix du contenu d'enseignement

Les contenus spécifiques paraissent assez indifférents dès lors qu'ils gardent comme caractéristique d'être peu axiomatisés, pour permettre aux élèves d'entrer dans le « jeu » d'une construction de savoirs (cf. *infra*, l'idée de dévolution). Plusieurs champs conceptuels des mathématiques ont ainsi fait l'objet d'une exploration.

(3) Objet de la recherche

Le travail consiste à organiser les activités d'enseignement d'une façon telle que le caractère paradoxal de l'apprentissage puisse être pris en compte. Ce sont les élèves qui doivent être les acteurs essentiels des situations-problèmes bien qu'ils ne les aient pas choisies et alors même que l'apprentissage les met aux prises avec des obstacles qu'ils devront surmonter chemin faisant. Le projet consiste à étudier de quelle manière le maître peut jouer un rôle décisif par ses propositions, mais sans jamais se substituer à l'activité propre de la classe.

4) Méthodologies de recherche

Des séquences didactiques construites avec précision par la recherche et enchaînées dans un ordre déterminé, font l'objet d'enregistrement et d'analyses quant à la façon dont se construit le savoir.

(5) Concepts didactiques centraux

Plusieurs concepts majeurs de la didactique des mathématiques ont été introduits dans le cadre de ces travaux, notamment ceux de **dévolution** et de **contrat didactique**. Ceux-ci permettent d'analyser le fonctionnement coutumier de l'enseignement, en même temps qu'ils servent de guide à l'élaboration d'une « **théorie des situations didactiques** ».

(6) Produits de la recherche

Cette élaboration de concepts didactiques nouveaux conduit à établir, pour chaque champ conceptuel, une succession jugée optimale d'actions didactiques. Car, au-delà de la construction de séquences spécifiques d'un contenu, l'auteur cherche à valider et à instancier une succession de situations didactiques, respectivement dites d'**action**, de **formulation**, de **validation**, d'**institutionnalisation**.

(7) Orientations propositionnelles pour l'enseignement

Cette recherche conduit vers une forme d'enseignement qui s'efforce d'éviter les « fausses réussites » des méthodes traditionnelles (cf. les effets Topaze ou Jourdain), lesquelles court-circuitent l'essentiel de l'apprentissage. C'est la classe qui construit le savoir grâce à une validation interne de ses résultats. Le rôle du maître consiste à s'abstenir de se prononcer d'autorité sur le vrai et le faux, mais il intervient en proposant des règles du jeu, en modifiant le cours des activités, etc.

Guy RUMELHARD

La génétique et ses représentations dans l'enseignement

Berne : Peter Lang. 1986

Présentation succincte

En analysant les manuels d'enseignement secondaire et supérieur, ainsi que les textes officiels actuels et anciens, français ou étrangers, l'auteur étudie le système de représentations des élèves et des enseignants, concernant l'enseignement scientifique, et plus précisément la théorie génétique : qu'entend-on par concept de gène, qu'est-ce que l'hérédité, que représente l'idée de don, que recourent les lois de Mendel ? L'ouvrage s'appuie aussi pour cela sur l'analyse de questionnaires et de copies produites en situation scolaire. L'auteur réfute la possibilité d'un enseignement scientifique clair en lui-même et qu'il suffirait d'énoncer, ainsi que la réduction de l'enseignement de la biologie à des activités, malgré la place qu'occupent, dans la discipline, l'observation et l'expérimentation. Il propose de fonder véritablement l'enseignement sur des concepts, ceux-ci restant inséparables de l'analyse d'un contenu scientifique précis et délimité.

(1) Problèmes de l'enseignement scientifique

L'enseignement scientifique est centré sur les résultats de la science plus que sur son processus, et cela fait disparaître les questions, les problèmes scientifiques, les obstacles que la recherche a dû affronter. Du coup, il réorganise, en les dogmatisant, ces résultats de savoir.

(2) Choix du contenu d'enseignement

Le contenu choisi - la génétique classique - l'est pour des raisons épistémologiques. Il correspond à un concept central de la biologie choisi de façon à éviter un point de vue réductionniste (comme le serait le choix de la génétique moléculaire). C'est un domaine où interfèrent fortement idéologies et représentations sociales ; qui permet de délimiter un niveau de formulation et un champ de validité d'un concept.

(3) Objet de la recherche

Le projet consiste à analyser la matière sur le mode historico-épistémologique, pour en dégager les concepts forts, les techniques, les obstacles. La finalité de cette recherche est nettement critique (on peut parler de « didactique du soupçon ») par la dé-légitimation des pratiques établies. De ce point de vue, il transcende chaque objet de savoir pris pour lui-même. Mais la construction détaillée de situations didactiques alternatives reste à la charge des enseignants, ce qui distingue ce type de recherche des précédents.

(4) Méthodologie de recherche

L'auteur utilise de façon systématique un certain nombre d'idées-clés, telles que la vigilance face à tout réductionnisme en biologie, le parti d'examiner les modalités et les conditions des découvertes scientifiques, ou le repérage des processus de dogmatisation. Ces idées servent de « fil rouge » pour l'analyse critique, sans méthode systématique, des contenus enseignés. Parallèlement, est établi un *corpus* de textes théoriques de référence.

(5) Concepts didactiques centraux

Les concepts employés sont principalement ceux d'**obstacle épistémologique**, de **condition de possibilité** et de **représentation sociale**, en insistant sur la fonction idéologique des obstacles, autre que cognitive, avec fortes références psychanalytiques. D'origine extérieure à la didactique, ces concepts y font l'objet de développements particuliers.

(6) Produits de la recherche

Des connaissances nouvelles sont établies sur les obstacles à dépasser dans un domaine du savoir, par mise en relation des représentations des élèves et de l'analyse des concepts biologiques.

(7) Orientations propositionnelles pour l'enseignement

Un enseignement dérivé de cette recherche exerce les élèves à assimiler les questions, les obstacles, les processus, les techniques qui ont conduit aux savoirs scientifiques actuels et qui leur donnent sens. Il vise surtout le développement d'une sensibilité épistémologique chez les élèves, d'une vigilance critique vis-à-vis des données scientifiques toutes faites. Cet enseignement cherche, par une sorte d'ascèse, à réfréner toutes les facilités que s'octroie d'ordinaire la pensée.

Brigitte PETERFALVI (dir.)

Recherche sur les objectifs-obstacles et les situations d'apprentissage autour du concept de transformation de matière
(recherche en cours, conduite par l'équipe de didactique des sciences expérimentales de l'INRP)

Présentation succincte

Cette recherche étudie les apprentissages scolaires autour du concept de transformation de matière, qui est transversal à la biologie et à la physique-chimie. Elle analyse le réseau des obstacles épistémologiques, psychologiques et pédagogiques qui s'y rattachent et s'efforce de préciser les conditions et les étapes de leur franchissement didactique. Parallèlement, est envisagée une diversité de dispositifs didactiques, qui sont mis en relation avec ce travail d'obstacles. La recherche s'appuie, pour cela, sur des études de cas, développés à des niveaux de classes contrastés de l'école, du collège et du lycée, et doit conduire à des productions analysées de séquences didactiques qui résultent de ces analyses.

(1) Problèmes de l'enseignement scientifique

Il est prématuré de penser, comme certains didacticiens des sciences, que l'usage didactique des représentations a échoué ou se révèle impossible. Car en fait, on ne s'est pas vraiment donné les moyens de faire réussir cette direction de recherche. Les difficultés rencontrées seraient d'abord liées à la formation des enseignants.

(2) Choix du contenu d'enseignement

Le domaine conceptuel de la transformation de la matière a été choisi en raison de son caractère transversal, recoupant la physique, la chimie et la biologie. Or, justement, ce qui caractérise les obstacles, c'est qu'ils ne correspondent pas aux cadres disciplinaires, mais les débordent. Au contraire, le travail didactique des obstacles (quand il existe) en reste prisonnier. Du coup, les élèves apprennent dans le cadre de la coutume didactique de chaque discipline et ne font pas les « ponts ».

(3) Objet de la recherche

L'ensemble des obstacles rencontrés par les élèves est analysé à partir des représentations repérées. On examine la manière dont ils sont constitués en réseau dynamique et fonctionnel, qui les conforte mutuellement et assure le maintien inchangé des représentations. La recherche vise à construire des séquences d'enseignement centrées sur le dépassement de ces obstacles au long de la scolarité et au travers des disciplines. Ces séquences et leurs effets font ensuite l'objet d'analyses précises.

(4) Méthodologies de recherche

Le travail est conduit d'une manière participative, en associant des enseignants de différents niveaux de classes, à l'école, au collège, et au lycée. L'accent est mis sur l'invention par les maîtres d'une diversité de dispositifs didactiques, régulée par l'installation d'un cadre théorique (perspective d'innovation contrôlée).

(5) Concepts didactiques centraux

Sont au coeur de la recherche les concepts de **représentation**, d'**obstacle** et d'**objectif-obstacle**. Mais aussi, d'autres qui aident à l'élaboration de dispositifs, tels que **conflit socio-cognitif** ou **métacognition**.

(6) Produits de la recherche

Les produits de la recherche seront de deux ordres. D'une part, sur le plan théorique, l'idée de franchissement d'obstacle se trouve affinée (avec le repérage de moments conceptuellement et temporellement différents) et l'usage des objectifs-obstacles se diversifie par rapport à leur sens chez Martinand. Par ailleurs, l'ensemble des dispositifs d'enseignement, accompagnés de leur analyse didactique, constitueront un corpus de ce qui s'avère possible en ce domaine, sans se limiter au conflit socio-cognitif (souvent seul - et parfois mal - sollicité).

(7) Orientations propositionnelles pour l'enseignement

L'enseignement issu de cette perspective de recherche articulerait ce qui est souvent opposé : la rigueur dans la conception des séquences de classe mais leur nécessaire souplesse d'adaptation (perspective dite du « souple-dur »). C'est cette rigueur d'adéquation fine à la réalité pédagogique, cadrée par une analyse théorique qui confère son sens à l'action, qui fait grandement défaut dans la formation des maîtres.

CONCEPTIONS DE LA DIDACTIQUE « ENGAGÉES » PAR CES RECHERCHES

Il nous paraît possible, au terme de ces présentations successives, de suggérer diverses conceptions de la recherche en didactique qui s'y trouvent engagées. Encore une fois, nous sommes conscients du caractère délicat de l'entreprise, étant donné sa nature largement interprétative. Étant donné aussi qu'il est difficile de se garder de toute projection de son point de vue de chercheur comme de ses pratiques de recherche. Rappelons, de surcroît, que l'analyse proposée porte spécifiquement sur les travaux analysés et n'« étiquette » en rien les auteurs comme tels.

un éloge de la
diversité

Malgré ces risques évidents, la tentative nous a paru utile, dans le but de montrer le large spectre des recherches dans le domaine. L'intention n'est pas celle d'une catégorisation, mais bien celle d'un « éloge de la diversité ». La didactique des sciences est encore jeune, avec des caractéristiques théoriques et méthodologiques qui sont loin d'être stabilisées. À supposer d'ailleurs qu'elles puissent l'être vraiment et qu'il ne s'agisse pas là d'une caractéristique permanente du champ. Les tentatives qui pointent çà et là pour le régenter sont pour le moins prématurées, en tout cas assurément réductrices.

« La didactique c'est ... »

Tentons donc, en quelques phrases, d'indiquer quelles paraissent être les caractéristiques principales de la recherche en didactique dans les ouvrages étudiés.

La recherche en didactique c'est ...

Pour Johsua et Dupin (1988)

un modèle
scientifique
original

... C'est établir un modèle scientifique original pour l'enseignement d'un concept et construire rigoureusement des situations didactiques nouvelles, dont on étudie l'acceptabilité par les partenaires, enseignants et élèves.

Pour Calande, De Bueger et al. (1990)

diverses
réalisations d'un
modèle
pédagogique

... C'est décrire diverses réalisations, par des enseignants associés, d'un modèle pédagogique préalablement défini avec eux, qui se trouve de la sorte, exemplifié, affiné et enrichi de nombreuses variantes.

Pour Martinand (1986)

nouveaux outils
théoriques

... C'est élaborer de nouveaux outils théoriques qui renouvellent les « grilles de lecture » des situations d'enseignement et qui orientent les modes d'intervention des professeurs ainsi que les prises de décision curriculaires.

cadre théorique prescriptif

Pour Brousseau (1986)

... C'est construire un cadre théorique prescriptif, avec une volonté scientifique affichée, en mettant les modalités d'enseignement sous contrôle précis de la recherche, dans le but d'optimiser le processus d'apprentissage et de supprimer les fréquents « évitements » qui ont pu être analysés.

analyse épistémologique approfondie

Pour Rumelhard (1986)

... C'est développer une perspective critique par une analyse épistémologique approfondie, la sensibilisation aux obstacles étant partie intégrante de la culture scientifique (des enseignants et des élèves) et éclairant les conditions de possibilité des apprentissages. Mais les dispositifs précis restent à construire par chacun.

séquences d'enseignement diversifiées

Pour Peterfalvi et al. (en cours)

... C'est traduire un modèle didactique complexe, développé par des recherches antérieures, en séquences d'enseignement diversifiées, construites par des équipes de professeurs associés, puis analysées collectivement du point de vue des objectifs de la recherche.

Quelques dimensions d'analyse

grande diversité des perspectives

Il ressort de ce parcours rapide une grande diversité des types de recherches malgré le nombre limité de textes étudiés. Le panorama s'élargirait encore si l'on étendait le champ à des publications d'André Giordan et de Philippe Jonnaert, des équipes du LIREST ou du LDPES par exemple. On oscille de la volonté à fonder la didactique comme une science avec ses exigences (Brousseau) à des pratiques beaucoup plus participatives, associant diversement les enseignants. On peut parler d'**innovations contrôlées** quand la créativité des professeurs est fondée sur un fort cadre propositionnel initial (Calande et De Bueger, Peterfalvi et al.), ou encore d'**essais-évaluations** selon la terminologie de Martinand. Mais d'autres travaux sont à dominante interprétative, fondés sur des études de cas ou sur l'analyse d'un corpus, dont on cherche à dégager le sens. On peut alors parler de recherches **herméneutiques** (2) (Martinand, Peterfalvi et al.). Dans d'autres cas encore, la perspective est beaucoup plus théorique et s'efforce, en priorité, de clarifier des préalables épistémologiques ou conceptuels afin de modifier en profondeur les perspectives pédagogiques traditionnelles (Rumelhard).

(2) Je renvoie ici, sans pouvoir les développer, aux distinctions que j'ai proposées dans : "Trois paradigmes pour les recherches en didactique", in : *Revue française de pédagogie*, 103. 1993.

Mais il est clair qu'une même recherche peut fort bien ressortir de plusieurs de ces registres, qui constituent moins une partition que des dimensions d'analyse.

perspective
expérimentale
assez rare

Nous n'avons pas rencontré ici de travaux à caractère expérimental, mais notre corpus est partiel ; l'ouvrage de Philippe Jonnaert : *Conflits de savoirs et didactique*, pourrait en être le représentant. Mais il faut reconnaître que, très globalement, les publications de didactique des sciences en langue française relèvent peu de ce paradigme. Même quand est affirmée la volonté de rendre scientifique la recherche, c'est plutôt aux sciences humaines qu'on se réfère, en préférant s'appuyer sur des problématiques fortes que sur des méthodes comparatives, souvent illusoire en ce domaine.

• **Descriptif ou prescriptif ?**

un peu de
descriptif

Si peu de travaux s'affirment descriptifs, certains contiennent néanmoins des éléments à caractère descriptif, qu'il s'agisse de la description des procédures pédagogiques standard dont la recherche se démarque (Brousseau, Rumelhard) ou de celle des situations mises en place (Calande et De Bueger, Martinand, Peterfalvi et al.).

un peu de
prescriptif

Pourtant, les éléments indirectement prescriptifs ne sont pas absents pour autant. Ils résultent soit des présupposés que les auteurs annoncent et dont les exemples décrits militent pour la faisabilité (Calande et De Bueger, Peterfalvi et al.), soit des résultats scientifiques étayés, dont la force peut paraître s'imposer.

trois registres :
spéculatif,
praxéologique,
axiologique

Inévitablement, les recherches didactiques oscillent entre trois registres. Leur volonté de produire des données fiables, comme toute autre science (registre spéculatif) se combine avec une autre dimension, plus proche des « sciences de l'action » (registre praxéologique). De surcroît, elles sont nécessairement porteuses de valeurs, formatives et éducatives (registre axiologique). Mieux vaut assumer cette situation - inconfortable mais inévitable - et préciser autant que faire se peut la part intentionnelle du projet et de ses effets, laissant les enseignants mieux éclairés mais libres de leurs propres choix. À défaut, la volonté scientifique muterait vite en idéologie, au sens que Canguilhem a donné à ce terme : une idéologie *louche du côté d'une science dont elle reconnaît le prestige et dont elle cherche à imiter le style*. Car une idéologie ne fonctionne efficacement qu'à l'état masqué, rendue invisible par une sorte de « naturalisation ». Et dans nos sociétés, l'habillage scientifique est des plus efficaces de ce point de vue.

• **Théorique ou pragmatique ?**

Une autre distinction, qui ne recoupe pas exactement la précédente, concerne le caractère théorique ou pragmatique des cadres de recherche. Calande et Martinand par exemple,

perspective
pragmatique :
but ou base
d'analyse ?

qui se rejoignent quant à l'insertion d'éléments descriptifs issus des pratiques mises en place par des enseignants volontaires, s'opposent assez nettement en vertu de ce nouveau critère. Les études de cas sont, pour elles-mêmes, au cœur des analyses du premier, quand elle servent d'abord au second à fonder les concepts didactiques qu'il introduit (pratique sociale de référence, objectif-obstacle).

fondement
théorique ou
produits
théoriques ?

L'« armature » théorique est elle-même variée, constituée dans des proportions différentes, chez Rumelhard, Martinand et Brousseau, d'éléments empruntés et appliqués, et d'autres spécifiquement construits. De plus, le caractère théorique peut correspondre au fondement initial de la recherche, déterminant en quelque sorte ses hypothèses de travail (Peterfalvi et *al.*), ou bien plutôt en constituer des produits essentiels (Martinand). Mais là encore, les choses ne sont pas exclusives.

• Critique ou propositionnel ?

visée critique
rarement
première toujours
présente

Peu nombreuses sont les recherches en didactique des sciences dont la visée se présente comme d'abord critique (Rumelhard), le mot critique devant être entendu dans son sens fort d'examen approfondi de présupposés ou de pratiques largement admis. Pourtant, il est rare que cette fonction ne soit pas remplie d'une façon ou d'une autre : soit par la distance prise avec les formes pédagogiques dominantes, soit surtout parce que le travail de recherche conduit souvent à des remises en questions, chemin faisant. Comme le dit Vergnaud, on imagine souvent naïvement que la didactique propose de nouveaux dispositifs d'enseignement, « à contenus constants », mais c'est là une vue de l'esprit.

caractère
propositionnel
très inégal
suivant les
auteurs

Par contre, le caractère propositionnel est inégalement distribué. Entre les publications qui s'interdisent les alternatives élaborées pour ne pas se substituer au métier spécifique de l'enseignant (Rumelhard) et celles qui concluent sur des organisations didactiques spécifiées (Brousseau, Johsua et Dupin), notons celles qui en restent à des directions générales, qui proposent des exemples sans valeur normative (Peterfalvi et *al.*, Calande et De Bueger), qui fournissent des critères pour les prises de décision pédagogiques (Martinand).

sur le terrain, les
propositions sont
soumises à des
ajustements
personnalisés

Mais quelles que soient les préférences des auteurs, il reste que le métier d'enseignant intègre constitutivement de multiples « micro-décisions » prises dans l'instant, sans possibilité de se référer constamment à un modèle général de l'action. C'est d'ailleurs le cas pour les divers *métiers impossibles* évoqués par Freud, tels que éduquer, gouverner et soigner (thérapie). De telle sorte que les propositions les mieux élaborées et « calculées » ne peuvent que faire l'objet de reprises personnalisées. Cela conduit presque naturellement les recherches à se poser comme ressources pour les

formateurs et les maîtres innovateurs, ressources qui gagnent à être diversifiées, pour une gestion satisfaisante de la complexité des systèmes didactiques.

Jean-Pierre ASTOLFI
Université de Rouen
Équipe de didactique des
Sciences Expérimentales
INRP

PERSPECTIVES POUR LA RECHERCHE SUR L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES EN ANGLETERRE

John K. Gilbert

Le travail actuel et futur des chercheurs en didactique des sciences en Angleterre est présenté en relation avec la vague de changements qui affecte le système éducatif public. Le texte est illustré par des exemples d'articles publiés au cours de l'année précédente, ou en attente de publication, dans International Journal of Science Education, dont l'auteur est l'éditeur. Ces recherches sont ensuite situées dans le contexte plus large de la recherche sur l'enseignement des sciences dans l'ensemble de l'Europe. Des propositions pour une collaboration plus étroite dans le cadre de l'Union Européenne sont avancées.

1. LES CHANGEMENTS DANS L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

La loi de 1988 sur la Réforme de l'Enseignement a créé les bases d'un changement radical dans la structure d'ensemble du système éducatif de l'Angleterre (et du Pays de Galles également, mais nous n'en parlerons pas ici). Ce processus de changement est encore en cours, et fait l'objet de modifications répétées, au gré du Gouvernement de Sa Majesté. La quasi-totalité des pouvoirs des autorités éducatives locales, qui avaient la charge effective des écoles publiques, a été transférée à un conseil d'administration dans chaque établissement scolaire. Ce conseil prend l'ensemble des décisions financières concernant l'établissement et recrute le personnel, y compris le directeur. Un programme national, destiné à être "administré" à tous les élèves de 5 à 16 ans, a été établi. Les dispositions prises devaient être contrôlées par des inspections réalisées tous les quatre ans par un corps "indépendant", et par des tests nationaux organisés chaque année pour les élèves de 7, 11, 14 et 16 ans. Les résultats de ces inspections et de ces tests devaient être communiqués aux parents des élèves concernés, et publiés sur le plan national, pour permettre une comparaison des différentes écoles. Ces changements ont eu pour conséquence un renforcement massif du pouvoir central au niveau du Département de l'Éducation, accompagné d'une augmentation également massive de la bureaucratie au niveau de l'école.

changements du
système éducatif

la structure du
Programme
National

Le Programme National comprenait, à l'origine, les disciplines suivantes : anglais, mathématiques, sciences, gallois (au Pays de Galles seulement), technologie (y compris la technologie de l'information), une langue étrangère (généralement le français pour des raisons historiques), histoire, géographie, arts plastiques, musique, éducation physique. Initialement, ces disciplines avaient un statut à peu près équivalent, même s'il était prévu de répartir le temps disponible de façon inégale. Les programmes en ont été définis de façon tout à fait indépendante. Bien évidemment, l'emploi du temps s'est trouvé surchargé de façon excessive et une révision importante a été réalisée en 1992 (National Curriculum Council, 1992). Il s'est avéré que celle-ci n'était pas assez radicale, et, à la suite d'un refus de faire passer les tests nationaux de la part des enseignants à l'échelon national, en 1993, le système a été entièrement révisé au début de 1994 (Dearing, 1994). Parmi d'autres changements, il est prévu que les sciences deviennent une discipline fondamentale, avec l'anglais et les mathématiques, et qu'elles occupent environ 20% de l'emploi du temps. Cet ensemble de propositions fait encore l'objet de consultations avec les enseignants, les parents et l'industrie, à l'heure actuelle, mais sera vraisemblablement mis en œuvre en grande partie sous sa forme actuelle.

le Programme
National pour les
Sciences

Le Programme National pour les Sciences est construit autour de quatre grandes catégories d'"Objectifs d'acquisitions", qui précisent les contenus à étudier : "*Sciences expérimentales et d'investigation*" (que l'on pourrait interpréter comme les méthodes empiriques de la recherche scientifique) ; "*La vie et les processus de la vie*" (qui pourrait correspondre à la biologie) ; "*La matière et ses propriétés*" (qui pourrait correspondre à la chimie) ; "*Les processus physiques*" (qui pourrait correspondre à la physique) (Schools Curriculum and Assessment Authority, 1994). Dix niveaux d'acquisition sont définis pour chacun de ces chapitres, avec un éventail de performances attendues à différents âges : à 7 ans les niveaux 1 à 3, à 11 ans les niveaux 2 à 5, à 14 ans les niveaux 3 à 7, à 16 ans l'équivalent des niveaux 8 à 10. Ce schéma compliqué - et encore soumis à des changements rapides - d'objectifs fortement définis, visait à produire des effets déterminants sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences. L'intention générale était d'obtenir que tous les élèves reçoivent le même enseignement (jusque-là, par exemple, les filles arrêtaient la physique à 14 ans).

Des changements dans le marché du travail, jouant indépendamment des modifications des programmes scolaires pour les moins de 16 ans, ont eu pour effet de faire passer la proportion des jeunes de 16 ans étudiant à plein temps ou à temps partiel de 59 % en 1979-80 à 79 % en 1992-93, et des jeunes de 17 ans de 32 % à 46 % sur la même période (Department For Education, 1993). Le nombre d'étudiants à plein temps en première année dans l'ensei-

gnement supérieur a augmenté de 67 % entre 1981-82 et 1991-92, la proportion des filles atteignant 47 % à cette dernière date.

l'enseignement
général après
16 ans

Les programmes traditionnels pour les élèves de plus de 16 ans se destinant à l'enseignement supérieur comportaient trois disciplines, étudiées pendant deux ans pour l'examen du "Advanced Level" (A-Level). Le pourcentage de réussite avec mention passable est resté à peu près constant (environ 80 % des candidats dans chaque matière), alors que la proportion des jeunes du groupe d'âge se présentant à l'examen augmentait régulièrement (voir ci-dessus). La nature et les combinaisons des disciplines choisies à ce niveau ont changé au cours de ces dernières années. Sur une période de trente ans, on observe une baisse à peu près régulière de la proportion d'étudiants suivant les enseignements "Sciences seulement" (par exemple : physique, chimie et mathématiques), et une augmentation de la proportion des étudiants des enseignements de "Lettres seulement" (par exemple : anglais, français, histoire), et des enseignements "mixtes" (par exemple : biologie, anglais, sciences économiques) (Smithers and Robinson, 1991). Il est possible que ce soit la réputation persistante de difficulté des enseignements scientifiques pour le A-level, ou bien la qualité de l'enseignement donné avant 16 ans, qui détourne les élèves des études scientifiques. Des différences entre les sciences peuvent être constatées : sur les dix dernières années, le nombre de candidats a augmenté en biologie, il a un peu baissé en chimie, mais beaucoup baissé en physique. L'avenir de la physique et des enseignements liés à la physique paraît incertain.

l'enseignement
professionnel
après 16 ans

La grande question politique de ces quelques dernières années a concerné les contenus d'enseignement pour les étudiants de bas niveau qui choisissent de poursuivre leurs études au delà de 16 ans. À côté d'un certain nombre d'autres innovations, trop limitées et trop passagères pour être rapportées ici, les formations "Qualification Professionnelle Nationale" (NVQ) ont été progressivement mises en place. Celles-ci sont destinées à préparer les élèves à un emploi dans certaines catégories de professions, telles que l'hôtellerie, le bâtiment. Le problème est qu'elles ne bénéficient pas d'une équivalence avec les A-levels en ce qui concerne l'accès possible à des études supérieures. Pour y répondre, de nouvelles formations "Qualification Professionnelle Nationale Générale" (GNVQ), dont une formation scientifique, sont en cours de mise en place. Elles sont équivalentes à deux A-levels (Royal Society of Arts, 1992). Ces enseignements "appliqués" forment un net contraste avec les enseignements "purs" "académiques" des A-levels, et attirent beaucoup d'élèves, car ils sont de plus en plus souvent acceptés pour l'entrée dans l'enseignement supérieur. Cependant, l'introduction de ces nouvelles formations n'a pas résolu la question majeure : répondre à une demande nouvelle des étudiants. C'est dans ce but qu'une

développement
des
enseignements
universitaires

formation GNVQ équivalente au niveau inférieur du *A-level* est en cours d'élaboration. On peut s'attendre à une activité effrénée dans ce domaine pendant cinq ans au moins.

Ces changements ont eu des effets, même s'ils restent modérés à l'heure actuelle, au niveau des universités. Traditionnellement, les universités anglaises préparaient à des diplômes dans une seule discipline, par exemple la physique, ou, au maximum, une combinaison de quelques matières, par exemple la physique et la chimie. Or, comme cela a été souligné plus haut, la tendance de l'enseignement secondaire n'est plus de préparer les élèves spécifiquement à de tels cursus d'études. En même temps, le gouvernement fait pression sur les universités pour qu'elles augmentent la proportion des étudiants en science (actuellement 37 % de l'ensemble). En conséquence, il est beaucoup plus facile d'obtenir une place dans la plupart des universités pour étudier les sciences que les lettres. Les formations "mixtes", par exemple biologie et gestion, n'offrent pas suffisamment de places. La création récente d'un titre universitaire unique, en insérant des formations techniques supérieures dans le secteur universitaire et en favorisant de ce fait la compétition entre des établissements de prestige et de financement équivalents, au moins en principe, doit stimuler l'innovation. Beaucoup d'universités sont en train de créer des diplômes modulaires et de diminuer les pré-requis exigés à l'entrée, proposant ainsi des formations plus généralistes.

En termes d'enseignement et d'apprentissage, l'évolution récente permet de penser qu'un nombre croissant d'étudiants, à tous les niveaux du système, développeront un éventail plus large de savoirs et de compétences. Ils seront armés pour faire face aux défis de demain, plutôt que pour reproduire les réussites d'hier. Le problème pour la science sera de proposer des enseignements ayant une valeur culturelle générale, plutôt que portant sur les pré-requis pour un travail de recherche ultérieur. Un autre défi sera d'élargir à l'ensemble du système éducatif l'utilisation de la variété des méthodes d'enseignement élaborées dans le contexte scolaire.

2. LES CHANGEMENTS DANS LA RECHERCHE SUR L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

les structures
institutionnelles
pour la recherche
sur
l'enseignement
des sciences

La plus grande partie de la recherche en cours dans ce domaine en Angleterre concerne les élèves de 5 à 16 ans. Dans bien des cas, les chercheurs sont associés à la formation des enseignants, soit dans le cadre de départements de didactique des sciences spécifiques (par exemple à l'Institut d'Éducation de l'Université de Londres ou à l'Université de Reading) soit dans le cadre de groupes de

recherche spécifiques à l'intérieur des facultés de sciences de l'éducation (par exemple à l'Université de Leeds, au King's College de Londres) soit individuellement dans le cadre de facultés de sciences de l'éducation (par exemple à l'Université de Leicester). Dans certains cas, des relations ont été établies avec des départements de sciences (par exemple à l'Université de York) ; certaines recherches sur l'enseignement des sciences font même d'ailleurs partie de départements de sciences (par exemple à l'Université de Glasgow). Le gouvernement actuel se propose de transférer la formation initiale des enseignants progressivement des universités aux établissements scolaires. Au fur et à mesure de l'application de cette politique, les crédits sont déplacés des universités aux établissements scolaires. Ceci entraîne une diminution progressive du nombre de formateurs d'enseignants, de sorte qu'il est de plus en plus difficile de maintenir des groupes viables de chercheurs en didactique des sciences. Il semblerait que les universités commencent à voir l'intérêt de la coopération, pour la recherche, plutôt que de la compétition.

Le financement de la recherche sur l'enseignement des sciences, comme de toute autre recherche, est essentiellement constitué de fonds affectés par l'État à des universités particulières. Le niveau de ce financement dépend des résultats d'un audit effectué tous les quatre ans sur la qualité des résultats de la recherche. La recherche est de plus en plus concentrée dans des départements "bien classés". Des possibilités d'obtention de crédits assez modestes existent pour des chercheurs individuels ou des groupes de recherche sur une base compétitive, en provenance du Conseil National de la Recherche Économique et Sociale, mais pour en bénéficier toutes les branches de la recherche sur l'éducation se trouvent en compétition avec la psychologie, la sociologie, l'économie : la recherche sur l'enseignement des sciences en obtient très peu. Certaines œuvres publiques et sociétés industrielles versent de l'argent à la recherche, et l'enseignement des sciences en a largement bénéficié par le passé. Les sociétés industrielles, en particulier, financent plus volontiers la production de matériel d'enseignement (par exemple des vidéo-cassettes), bien que la recherche puisse souvent y être associée sous la forme d'évaluation. Cependant, ces sources dépendent des bénéfices et de la générosité de l'industrie britannique : tous deux ont diminué ces derniers temps. Le Département National de l'Éducation ne finance pratiquement aucune recherche en éducation : peu des travaux financés aboutissent à des publications sous forme non censurée.

Pour ces raisons, une grande partie de la recherche est faite par des enseignants universitaires, dans le temps qu'ils peuvent arracher à leurs fonctions d'enseignement et d'administration. Le nombre d'enseignants préparant des diplômes de recherche est faible, que ce soit à plein temps ou à temps partiel, d'une part parce qu'ils ne peuvent obte-

les sources de
financement

déclin des
activités de
recherche

nir un financement, d'autre part parce qu'une qualification dans ce domaine ne donne aucun avantage en ce qui concerne l'avancement dans les établissements scolaires et qu'il y a peu de postes dans l'éducation supérieure. À cause de la réputation, à l'étranger, et particulièrement dans les pays du Commonwealth, de la recherche en didactique des sciences au Royaume-Uni, il y a encore un nombre important d'étudiants étrangers au niveau de la recherche. Inévitablement, et à juste titre, ceux-ci s'intéressent surtout aux questions qui ont de l'importance dans leur pays d'origine, plutôt qu'à celles qui ont de l'importance en Angleterre. En résumé, si la qualité des travaux de recherche sur l'enseignement des sciences en Angleterre reste d'un niveau élevé, ces évolutions laissent penser que la qualité comme la quantité des résultats de recherche sont sérieusement menacées.

3. LES RECHERCHES CONCERNANT LE PROGRAMME NATIONAL POUR LES SCIENCES

La recherche demande beaucoup de temps, depuis la conception du projet jusqu'à la publication, en passant par le travail sur le terrain. La première version du Programme National n'a paru qu'en 1990. Il n'est donc pas surprenant que ce soit maintenant seulement que paraissent des textes importants sur ce sujet dans les revues. Ces dernières étudiants actuellement la façon dont elles pourraient répondre à la demande de publications portant sur les changements, dont les délais de parution soient courts (Gilbert, 1994a ; Duschl, 1994). Un ensemble de grands thèmes peuvent être identifiés, qui, considérés comme un tout, constituent un programme pour les recherches sur l'enseignement des sciences en Angleterre.

3.1. Le développement de l'enseignement des sciences à l'école primaire

Jusqu'à récemment, les futurs professeurs de l'enseignement primaire n'avaient besoin d'aucun diplôme scientifique. En conséquence, l'enseignement scientifique était souvent absent dans les écoles primaires. Là où il existait, l'accent était mis sur la biologie, souvent sous la forme d'études de la nature.

Harlen (1993) a résumé les trois raisons qui ont motivé l'introduction de la science comme matière obligatoire au niveau primaire.

La première procède du fait que, depuis vingt ans, on s'aperçoit de plus en plus qu'à l'âge de l'école primaire, les enfants attribuent une certaine signification, désignée sous le terme de "conception alternative", à beaucoup des mots

l'enseignement
change vite, les
résultats de
recherche sont
plus longs

le
développement
de
l'enseignement
des sciences à
l'école primaire

utilisés dans les sciences. Le problème est que cette signification est souvent différente de celle des scientifiques, et que, une fois acquise par l'enfant, il faut beaucoup de temps pour la changer. L'argument est donc que l'évolution de ces significations attribuées par les enfants vers celles de la science doit commencer aussitôt que possible.

La deuxième raison tient au constat que la façon la plus efficace de changer ces conceptions est d'engager les élèves dans des démarches d'investigation guidée, qui mettent en jeu et développent les compétences méthodologiques scientifiques. Il est donc nécessaire de faciliter le développement et l'utilisation de ces compétences.

La troisième raison concerne les attitudes envers les sciences. Dans les années 70, à une époque où les sciences étaient plus fréquemment des disciplines facultatives dans l'enseignement secondaire, on a pu constater que dès l'âge de dix ans des attitudes affirmées vis-à-vis des sciences étaient déjà installées, qui influençaient fortement les choix d'options. L'idée a ainsi été avancée que, pour éviter que les adolescents, et surtout les filles, ne se désintéressent des études scientifiques devenues obligatoires dans l'enseignement secondaire, il était nécessaire qu'ils en aient une expérience positive à l'école primaire.

Ces raisons à l'introduction des sciences dans les programmes de l'école primaire ont fortement influencé les approches de l'enseignement et de l'apprentissage qui ont été adoptées. Suivant une tradition bien ancrée de centrer les études primaires sur les intérêts des enfants, l'enseignement scientifique est fondé sur des sujets qui intéressent les élèves, et où d'autres disciplines, comme l'anglais et la géographie, jouent un grand rôle. Sur ces sujets, les élèves conduisent des investigations, étroitement guidées par l'enseignant, qui utilisent et mettent à l'épreuve leurs propres idées. Cet engagement actif, souvent organisé sous la forme de travail en groupes des élèves, se prête au développement d'attitudes positives vis-à-vis de la science.

Les difficultés qui accompagnent l'introduction de telles méthodes de travail dans de nombreuses écoles sont résumées dans le dernier rapport de l'Inspecteur des Écoles sur les sciences à l'école primaire :

"Les sciences sont nettement plus enseignées dans les écoles primaires depuis dix ans et la plupart des écoles ont augmenté et amélioré leurs ressources pour l'enseignement scientifique. [...] l'un des plus grands obstacles à l'enseignement des sciences a été le manque de connaissances de beaucoup d'enseignants dans ce domaine. [...] lorsque le travail autour de centres d'intérêt n'est pas bien organisé, ou lorsque trop d'aspects de trop de sujets différents sont abordés, le travail manque de cohérence, et conduit à donner aux élèves une expérience superficielle de la science."

(Her Majesty's Inspectorate of Schools, 1989, p.5)

ses spécificités

ses faiblesses

Même avec l'impulsion donnée aux sciences à l'école primaire par le statut de discipline fondamentale qui lui est accordé dans le Programme National, il faudra peut-être encore dix ans avant que ne soient surmontées les difficultés existant au niveau des ressources, des connaissances des enseignants et de l'organisation dans la classe. L'évaluation de l'évolution du système constituera une tâche de première importance pour la recherche.

3.2. L'enseignement des sciences proposé aux élèves de 11 à 16 ans

Bien que l'enseignement scientifique ait pris une place de plus en plus grande dans les programmes des écoles secondaires au cours des trente dernières années, l'introduction par le Programme National d'un enseignement scientifique à la fois obligatoire pour tous et intégrant les diverses disciplines scientifiques a posé des problèmes dans beaucoup d'écoles.

la structure des programmes scientifiques dans l'enseignement secondaire

Certains de ces problèmes sont dus à la formation des enseignants, qui ont presque tous un diplôme universitaire, souvent en physique, chimie ou biologie, mais rarement dans ces trois disciplines. Les laboratoires, principaux espaces pour l'enseignement des sciences dans les établissements secondaires, étaient équipés principalement ou exclusivement pour l'une de ces sciences. Les établissements ont chacun adopté une modalité d'organisation parmi un éventail de réponses possibles au Programme National, en fonction de leur propre programme antérieur - c'est-à-dire de ce qu'ils enseignaient jusque-là. Certains ont adopté une approche scientifique intégrée, dans laquelle un seul enseignant est responsable de toutes les sciences enseignées dans une classe. D'autres ont adopté une approche coordonnée, selon laquelle chaque objectif d'acquisition du programme est enseigné par un spécialiste, le tout étant orchestré pour assurer une cohérence de l'apprentissage pour les élèves. L'approche par modules est un hybride des deux précédentes, avec des ensembles de cours enseignés par différents spécialistes dans une même classe.

Le nombre d'élèves dans les écoles secondaires en Grande Bretagne décroît depuis quelques années, reflétant la baisse des taux de natalité des années précédentes. Ce facteur, ajouté à l'introduction d'un enseignement scientifique intégré pour tous les élèves, a produit une augmentation de l'hétérogénéité des niveaux d'apprentissage dans les classes, même quand des classes de niveaux, sélectionnées sur la base des résultats antérieurs, sont explicitement organisées.

L'accent est davantage mis sur la nécessité de faciliter la différenciation de l'apprentissage, pour prendre en compte la variété des points de départ et des rythmes d'apprentissage, et en même temps de définir une progression, car tous les étudiants doivent arriver à améliorer leurs performances par

des
changements
dans les styles
d'enseignement

rapport aux niveaux spécifiés (Postlethwaite, 1993). Des approches pédagogiques constructivistes sont mises en œuvre dans ce but, bien que moins fréquemment qu'à l'école primaire, à cause d'une tradition plus profondément enracinée d'enseignement expositif en classe entière, mêlée souvent d'enseignement en classe dialoguée. On peut noter néanmoins un développement des approches centrées sur "l'apprentissage flexible", faisant appel à une variété de matériels écrits utilisés par les élèves sur une base individualisée, l'enseignant jouant un rôle de conseiller. Elles s'accompagnent souvent de l'usage de jeux, de simulations et de problèmes à résoudre (voir Wellington, 1994). Dans l'ensemble, la tendance va vers le développement de méthodes d'apprentissage actif, qui sont très dépendantes des connaissances sur les contenus et des compétences de gestion de la classe de l'enseignant.

les enseignants
et la nature de
la science

L'introduction d'un chapitre spécifique dans le Programme concernant "*les sciences expérimentales et d'investigation*" a attiré l'attention sur le rôle du travail pratique dans la science à l'école, et sur la nature de la science. Ce dernier point s'est montré source de difficultés pour bien des enseignants, car il semble qu'au moins jusqu'à ces dernières années, le sujet n'était pas traité à l'Université, ni dans la formation professionnelle des enseignants. En bref, beaucoup d'enseignants ont un point de vue réaliste du monde, un point de vue inductiviste de la méthodologie scientifique, et un point de vue accumulationniste des progrès scientifiques. Actuellement, des progrès considérables se font dans le sens d'une formation des enseignants aux points de vue hypothético-déductifs sur la méthodologie scientifique, et aux points de vue socio-constructivistes sur l'avancée des connaissances scientifiques (voir Wellington, 1994). Ceux-ci semblent cependant encore réticents à abandonner une conception de la science comme vérité absolue, qui constitue pour beaucoup d'entre eux une justification de leur place privilégiée dans les programmes scolaires - l'introduction d'études historiques, de jeux de rôles et de discussions ouvertes sur la science en classe leur semblant signifier cet abandon.

L'inertie due aux programmes traditionnels et à la formation des maîtres est responsable de la lenteur de l'évolution de l'enseignement scientifique pour les élèves de 11 à 16 ans. Il faut le souligner cependant : les professeurs de sciences britanniques sont en général des personnes qualifiées, qui ont à la fois des connaissances solides et un engagement moral dans l'enseignement des sciences à tous les jeunes. Les difficultés évoquées plus haut seront progressivement surmontées. Ici encore, des recherches sur l'évolution du système pourraient éclairer utilement la manière de conduire des changements ultérieurs.

3.3. Les rapports entre l'enseignement des sciences et celui de la technologie

On peut penser que l'introduction de la technologie a représenté la plus grande avancée réalisée par le Programme National initial (1990), même si cette discipline était fondée sur les traditions disparates du travail manuel (menuiserie, métal), de l'économie domestique, des arts plastiques et des études commerciales. Cependant, faute d'une organisation cohérente de la réalisation de documents pédagogiques, le nouveau programme s'est avéré trop difficile à mettre en œuvre pour beaucoup d'écoles. La discipline a été rebaptisée : Conception et Technologie (*Design and Technology*) (Dearing, 1994) et se définit maintenant comme l'introduction progressive d'activités de conception et de fabrication.

les relations entre science et technologie à l'école

Néanmoins, la technologie (ou plus exactement, l'enseignement technologique) s'est révélée d'un grand intérêt pour les enseignants en sciences, et ceci pour plusieurs raisons. Premièrement, et bien qu'il n'y ait aucun doute au sujet des relations étroites entre la technologie moderne et la science moderne, beaucoup de scientifiques et d'enseignants de science considèrent la technologie comme une science appliquée, et par conséquent, son enseignement comme une extension, en quelque sorte, de l'enseignement scientifique. En second lieu, les investigations en science et en technologie adoptent des approches similaires, et d'autre part de nombreux concepts scientifiques sont utilisés, quoique sous une forme modifiée, en technologie. Troisièmement, comme le programme scientifique peut paraître très abstrait, les enseignants de sciences trouvent que la technologie représente un bon moyen de démontrer les relations de la science avec le monde de tous les jours.

différentes modalités

Un large éventail de degrés d'intégration de l'enseignement des sciences et de l'enseignement de la technologie a vu le jour (voir Gilbert, 1992). Parmi ceux-ci, on peut citer : un enseignement scientifique suivi d'une discussion des relations entre la science et la production d'objets technologiques ; l'introduction à l'enseignement scientifique par le moyen de l'analyse d'un produit technologique approprié ; l'utilisation d'un produit technologique comme cadre d'ensemble pour enseigner les idées scientifiques. Que la technologie soit vue comme une aide à la motivation pour l'enseignement scientifique, ou que les deux disciplines soient considérées comme complémentaires par rapport à la compréhension du monde et de l'action sur le monde, il semble très probable que les relations entre les deux disciplines seront appelées à devenir plus approfondies et plus variées.

La recherche sur la nature de ces relations pourrait apporter des éclaircissements précieux.

3.4. La contribution de la didactique des sciences à l'éducation à l'environnement

Des discussions avec les jeunes montrent invariablement qu'ils sont très intéressés par l'environnement naturel et les effets des actions de l'homme sur l'environnement et qu'ils ont beaucoup de connaissances à ce sujet. Si l'objectif d'un programme est d'aider les élèves à faire face aux problèmes qu'eux-mêmes discernent, on s'attendrait à ce qu'il comprenne une approche de l'éducation environnementale. S'agissant du Programme National de Grande-Bretagne, cette prise de conscience est survenue, quoique quelque peu tardivement, et l'éducation à l'environnement a été instituée comme thème interdisciplinaire, à enseigner à travers d'autres disciplines scolaires, la science jouant un rôle majeur (National Curriculum Council, 1990).

Étant donné l'absence de perspectives générales bien établies sur l'éducation à l'environnement dans les écoles britanniques, il n'est guère surprenant que ces dernières aient rencontré de grandes difficultés à en assurer l'enseignement, sur le plan des personnels enseignants, des ressources en matériel et de l'organisation de l'emploi du temps (Gayford and Dorion, 1994). La révision la plus récente du Programme National (Dearing, 1994) semble avoir abandonné l'éducation environnementale - délibérément ou accidentellement, seul le temps le dira.

Cependant, il semble peu probable qu'une réflexion majeure sur l'éducation à l'environnement dans les écoles britanniques puisse être indéfiniment repoussée. Les questions de la qualité de la vie, du rapport entre l'expansion économique et l'exploitation des ressources naturelles, entre le développement technologique et les effets sur l'environnement, figurent comme des priorités dans bien des programmes politiques. L'éducation environnementale, parce qu'elle implique des jugements de valeur qui s'appuient sur des données scientifiques, technologiques et économiques, paraît très ardue à beaucoup d'enseignants. Des exemples de programmes détaillés, de méthodes d'enseignement et de matériels de qualité, sont difficiles à trouver. Dans les dix années à venir, tout ceci devrait devenir accessible. Il est capital que l'éducation scientifique joue un rôle majeur dans ce mouvement : aux yeux de beaucoup de jeunes tout ce qui est ouvertement destructeur de l'environnement doit être combattu ou tout au moins évité. Si l'éducation scientifique ne réussissait pas à prendre toute sa place dans l'éducation environnementale, cela produirait chez eux non seulement un point de vue déformé sur la science, mais encore une plus grande antipathie à son égard. Ce domaine complexe ne peut pas évoluer valablement sans bénéficier des éclairages de la recherche.

l'enjeu important de l'éducation à l'environnement...

...et son développement insuffisant dans l'enseignement

3.5. L'évaluation de l'éducation scientifique

les effets
déterminants des
changements
dans l'évaluation

La manière, la forme et le contenu des épreuves d'évaluation obligatoires introduites par le Programme National pour les élèves de 7, 11 et 14 ans, ont eu un impact très important sur l'enseignement dans toutes les disciplines. L'introduction de ces épreuves pourra s'avérer avoir produit des effets positifs, par exemple sur l'amélioration des résultats des élèves les moins favorisés, mais son résultat le plus immédiat est une baisse du moral et de l'engagement professionnels des enseignants.

les buts de
l'évaluation

Black (1993) a fait remarquer que l'évaluation répond à trois objectifs différents : aider directement l'apprentissage, sanctionner une qualification individuelle des élèves, permettre de rendre compte publiquement de l'efficacité des institutions et de leurs enseignants. Le dispositif d'évaluation nouvellement introduit vise le troisième de ces objectifs et constitue donc une menace directe pour les écoles et les enseignants. Bien que les procédures soient actuellement en cours de réexamen, la plupart des épreuves restent écrites. En ce qui concerne les sciences, les élèves passent trois épreuves écrites, chacune étant tirée d'un ensemble de trois épreuves, le choix se faisant en fonction des résultats probables de l'élève d'après l'évaluation de son professeur. Des épreuves pratiques s'y ajoutent, l'évaluation s'appuyant à la fois sur des réponses écrites et des observations par l'enseignant.

conflit entre les
enseignants et le
gouvernement

La désorganisation de ce dispositif, qui a résulté de grèves des enseignants en 1993 (qui se reproduiront vraisemblablement, au moins partiellement, en 1994), et l'absence d'études indépendantes (interdites par le Gouvernement) rendent difficiles des conclusions claires sur l'effet de ces épreuves d'évaluation. Cependant, Black (1993) déclare, en se basant sur une enquête par téléphone, que :

"Les enseignants pensaient que leur enseignement commençait à être orienté par l'évaluation, que leur manière d'enseigner devenait plus formelle, en particulier à cause de la pression d'un programme spécifique à terminer, et que l'emploi d'épreuves de contrôle écrites se trouvait renforcé."

Étant donné que la réussite aux nouvelles épreuves demande la mémorisation d'un plus grand nombre de connaissances factuelles, il semblerait que l'apprentissage, aussi bien que l'enseignement, en ait souffert. Étant donné l'énorme impact de l'évaluation tant sur l'emploi des ressources que sur la pratique pédagogique, des recherches variées et sur une grande échelle semblent nécessaires.

4. LA COLLABORATION À L'INTÉRIEUR DE L'UNION EUROPÉENNE

Une enquête récente sur la recherche en didactique des sciences physiques dans quelques pays européens (Gilbert, 1994a) a montré l'importance d'un certain nombre de thèmes. Il peut être utile de présenter rapidement les travaux anglais en cours dans ce contexte, en s'appuyant sur les articles récents ou en cours de publication dans la revue *International Journal of Science Education*. La présentation suit l'ordre décroissant d'importance des thèmes dans l'ensemble des travaux européens ; ainsi le thème des "concepts" est plus largement traité dans l'ensemble de l'Europe que celui de l'"évaluation". Comme on le verra, l'Angleterre, de même que les autres pays, présente des particularités propres par rapport à ce schéma "moyen".

4.1. Conceptions et concepts

C'est un champ de recherche majeur en Angleterre. Le travail de longue haleine conduit par le C.L.I.S.P. à l'Université de Leeds (Donnelly, 1994) sur le développement des concepts chez les enfants, avec les implications qu'il entraîne pour l'enseignement des sciences, prend sa place à côté du travail effectué au King's College de Londres (Adey, 1994) sur la "progression" dans l'apprentissage des sciences et sur le développement de compétences conceptuelles chez l'enfant, ainsi qu'à côté du travail de l'Institute of Education de l'Université de Londres sur l'évolution de la "*pensée de sens commun*" (Ogborn, 1994).

Les publications récentes manifestent un déplacement de l'intérêt. Des recherches sur la compréhension des concepts de physique continuent. Ainsi Arnold et Millar (1994) ont étudié l'équilibre thermique, tandis que Twigger et al. (1994) ont travaillé sur la force et le mouvement, et que Arnold, Sarge et Worrell (1994) ont ajouté une contribution à l'abondante littérature sur la compréhension par les enfants de la Terre comme un corps céleste. Les études portant sur les conceptions de l'environnement commencent à se développer : Leach, Driver, Scott et Wood-Robinson (sous presse) ont entrepris une étude en profondeur des idées sur l'écologie chez des jeunes de 5-16 ans ; Batterham, Stanisstreet et Boyes (sous presse) se sont penchés sur le thème des effets des véhicules à moteur sur l'environnement. Plusieurs de ces études portent sur une sélection transversale d'élèves, et peuvent ainsi donner une idée de ce à quoi pourrait ressembler une progression de la compréhension.

L'objet des recherches se déplace inévitablement vers les causes de ces schémas de compréhension. Mariani et Ogborn (sous presse) ont examiné l'ontologie des événements physiques chez les élèves ; Monk (sous presse) propose des hypothèses sur les causes des changements dans

les principaux centres de recherche sur les concepts

intérêt croissant pour les concepts dans le domaine de l'environnement

les conceptions des élèves. L'utilisation de logiciels pour amener un changement conceptuel a été explorée par Henessy et al. (sous presse), tandis que le travail d'Adey (1994) sur l'accélération cognitive a fait l'objet d'une revue critique et de compléments (Leo et Galloway, sous presse).

4.2. Développement curriculaire

le Programme national a fait l'objet de peu d'études...

Il y a eu étonnamment peu d'études de la mise en œuvre du Programme National. Cependant, la tâche de gestion des départements scientifiques scolaires, qui devient de plus en plus exigeante, fait l'objet d'une recherche (Adey 1994), ainsi que le rôle des travaux pratiques et leur conduite (Adey 1994 - Millar 1994). Des façons de rendre la science scolaire plus attrayante pour les filles ont été explorées (Watts, Bently, 1994).

4.3. Science, Techniques et Société

Comme il a été dit plus haut, il existe un ensemble de travaux reconnus sur l'interface entre les enseignements scientifiques et technologiques (Gilbert 1992).

4.4. L'enseignement des sciences au niveau de l'enseignement supérieur

... de même que, pour d'autres raisons, l'enseignement scientifique universitaire

Il s'agit d'un sujet auquel étonnamment peu d'attention a été accordée, bien que certains signes montrent que cette situation est en train de changer (Donnelly 1994). Woolnough (1994) a étudié les facteurs qui influencent, chez les étudiants ayant les qualifications requises, le choix de suivre des enseignements scientifiques dans l'enseignement supérieur. Meester et Maskill (sous presse) ont examiné le rôle et l'organisation des travaux pratiques dans l'enseignement supérieur. Maskill et Selles (sous presse) ont analysé la préparation et l'aide aux enseignants de sciences stagiaires au cours de leurs expériences d'enseignement.

4.5. Étude des interactions dans la classe

Bien que ce thème ne fasse pas actuellement l'objet de recherches spécifiques, un grand nombre de travaux en didactique des sciences en Angleterre comportent des observations de classe.

4.6. Histoire et philosophie des sciences dans l'enseignement scientifique

Il ne fait aucun doute que ce domaine suscite beaucoup d'intérêt en Angleterre à l'heure actuelle. Cela vient peut-être de l'inclusion des "*Sciences expérimentales et d'investigation*", sous une forme qui est controversée, dans le Programme National. Jenkins (1994) a passé en revue

un intérêt
croissant pour
l'épistémologie

l'éventail des contributions potentielles de l'histoire et de la philosophie des sciences à l'enseignement scientifique. Kouladis et Ogborn (sous presse) ont fait une revue critique des méthodes utilisées pour identifier les conceptions sur la nature de la science, chez les enseignants spécifiquement. C'est une contribution importante, car un certain nombre d'études ont été réalisées sur la compréhension de la nature de la science, à la fois auprès des enseignants (Lakin et Wellington, 1994) et auprès des élèves (Leach, Driver, Millar, Scott, 1994 ; Solomon, Duveen, Scott, 1994). Sutton (sous presse) a poursuivi ses analyses pénétrantes sur la nature du langage dans les sciences et dans l'enseignement scientifique. Le rôle des modèles dans l'enseignement scientifique fait l'objet d'un intérêt grandissant (Gilbert, 1994c ; Patton, sous presse).

le rôle des
travaux pratiques

Les relations entre le développement d'une compréhension de la nature de la science d'une part, et de la nature du travail en laboratoire et de sa pratique d'autre part, sont examinées de façon plus précise. Duggan et Gott (sous presse) ont étudié la place des travaux pratiques dans le Programme National pour les sciences du Royaume-Uni. L'étendue des possibilités ouvertes pour enseigner effectivement les démarches scientifiques au moyen de travaux pratiques a fait l'objet d'un inventaire critique (Brotherton et Preece, sous presse). Les moyens d'améliorer la qualité de l'apprentissage à travers les travaux pratiques ont également fait l'objet de recherches, en particulier par la mise en œuvre de travaux de groupes (Kempa et Ayob, sous presse) et par une structuration plus précise des activités (Johnstone et Al-Naeme, sous presse).

4.7. Centres scientifiques interactifs

Il existe actuellement et depuis longtemps de l'intérêt pour les travaux dans ce domaine (par exemple Priest and Gilbert, 1994).

4.8. Évaluation

trop peu de
recherches sur
l'évaluation

Étant donné l'importance de l'évaluation dans le Programme National, il n'est pas surprenant que cette question ait reçu beaucoup d'attention, bien plus que dans le reste de l'Europe en moyenne. Cependant, assez peu de travaux dans ce domaine ont été systématiques et ont donné lieu à publication. Bird et Welford (sous presse) ont analysé les performances aux examens d'étudiants pour qui l'anglais était une seconde langue. Jenkins (sous presse) a analysé la nature et la mise en œuvre des orientations nationales dans l'évaluation du travail pratique réalisée par les établissements scolaires.

Ce survol rapide semble indiquer que les chercheurs en didactique des sciences anglais et ceux d'autres pays

la recherche sur
l'enseignement
des sciences
dans le contexte
européen

d'Europe partagent le même éventail de centres d'intérêt. Il peut être opportun, par conséquent, d'entreprendre des recherches collaboratives entre différents groupes de recherche d'un certain nombre de pays. Le climat politique est bien plus propice actuellement pour de telles entreprises. Après bien des années sans pouvoir d'action dans le domaine de l'éducation, l'Union Européenne prend maintenant des mesures positives. Le "Livre Vert" *"sur la dimension européenne de l'éducation"* (Commission of the European Communities, 1993a) propose différentes procédures pour aller de l'avant. Le Cadre IV a récemment institué un domaine nouveau, celui de *"Recherche en Education et Formation"* (Commission of the European Communities, 1993b), dont les priorités seront :

"- les problèmes qui intéressent l'ensemble des États membres : le marché unique, les nouvelles exigences en termes de compétences, et les demandes de développement endogène ;

- les innovations en matière de méthodes d'enseignement et de formation : outils, aspects psycho-pédagogiques et organisationnels, gestion de la qualité" (p. 26).

Il devrait être possible d'insérer dans un tel contexte les intérêts communs identifiés dans cet article.

En attendant, beaucoup de possibilités de soutiens réciproques peuvent voir le jour à travers les revues européennes qui publient la plupart des recherches. La Conférence des Rédacteurs de Revues sur l'éducation scientifique, qui s'est tenue à Gaeta (Italie) en 1993, a exploré un certain nombre des possibilités ouvertes par cette voie. L'une d'elle impliquerait le développement d'une coordination explicite entre les textes publiés dans les revues nationales et dans les revues internationales. L'Université d'Été sur la Recherche Européenne sur l'Enseignement des Sciences est maintenant instituée (Lijnse, 1994). Une Association Européenne de Didactique de la Biologie existe déjà. La création d'une Association Européenne pour la Recherche sur l'Enseignement des Sciences (European Science Education Research Association) est envisagée.

une
collaboration
accrue entre les
revues

John K. GILBERT
Département de l'enseignement des
Sciences et de la Technologie
Université de Reading, Grande Bretagne

La traduction a été assurée par June Dyer, avec la collaboration d'Anne Vérin.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEY, P. (1994). Research in science education at King's College, London. In : P. Lijnse (ed.), *European Research in Science Education*. The Hague, C.I.P. (pp. 87-90).
- ARNOLD, M., MILLAR, R. (1994). Children's and lay adults' views about thermal equilibrium. *International Journal of Science Education*, 16 (4), 405-20.
- ARNOLD, P., SARGE, A., WORRALL, M. (sous presse). Children's knowledge of the earth's shape and its gravitational field. *International Journal of Science Education*.
- BATTERHAM, D., STANISSTREET, M., BOYES, E. (sous presse). Kids, cars and conservation : children's ideas about the environmental impact of motor vehicles. *International Journal of Science Education*.
- BIRD, E., WELFORD, G. (sous presse). The effect of language on the performance of second-language students examinations. *International Journal of Science Education*.
- BLACK, P. (1993). Formative and summative assessment by teachers. *Studies in Science Education*, 21, 49-97.
- BROTHERTON, P., PREECE, P. (sous presse). Teaching science process skills. *International Journal of Science Education*.
- C.E.C. (1993a). *On the European Dimension of Education*. Brussels, Commission of the European Communities.
- C.E.C. (1993b). *Framework IV*. Brussels, Commission of the European Communities.
- DEARING, R. (1994). *A review of the National Curriculum and Assessment*. London Department for Education.
- D.F.E. (Department for Education) (1993). *Statistical Bulletin 16/93 : Participation in education by 16-18 years old in England 1979/80 and 1992/3*. London, Department for Education.
- DONNELLY, J. (1994). Research in the Centre for Studies in Science and Mathematics Education at the University of Leeds. In : P. Lijnse, *European Research in Science Education*. The Hague, C.I.P. (pp. 99-102).
- DUGGAN, S., GOTT, R. (sous presse). The place of investigations in practical work in the UK. National Curriculum for science. *International Journal of Science Education*.
- DUSCHI, R. (1994). Editorial policy and Introduction. *Science Education*, 78 (3), 203-8.

GAYFORD, C., DORION, C. (1994). *The Planning and Evaluation of Environmental Education in the National Curriculum*. Reading, University of Reading, The New Bulmershe Papers.

GILBERT, J. (1992). The interface between science education and technology education. *International Journal of Science Education*, 14 (5), 563-78.

GILBERT J. (1994a). On the significance of journals in science education : the case of I.J.S.E., *International Journal of Science Education* (sous presse).

GILBERT, J. (1994b). The development of educational research in the physical sciences in some European countries. Dortmund Summer Symposium, May.

GILBERT, J. (1994c) (ed.). *Models and Modelling in Science Education*. Hatfield, Association for Science Education.

HARLEN, W. (1993) (2nd ed.). *Teaching and Learning Primary Science*. London, Paul Chapman.

H.M.I. (Her Majesty's Inspectorate of Schools) (1989). *Aspects of Primary Education : The teaching and learning of science*. London, Department of Education and Science.

HENNESSY, S., TWIGGER, D., DRIVER, R., O'SHEA, T., O'MALLEY, C., BYARD, M., DRAPER, S., MOHAMED, R., SCANLON, E. (sous presse). A classroom intervention using a computer-augmented curriculum in mechanics. *International Journal of Science Education*.

JENKINS, E. (sous presse). When is a policy not policy ? School-based assessment of practical work at 16+. *International Journal of Science Education*.

JENKINS, E. (1994). HPS and school science education : remediation or reconstruction. *International Journal of Science Education*, 16 (6), 613-623.

JOHNSTONE, A., AL-NAEME, F. (sous presse). Filling a curriculum gap in chemistry. *International Journal of Science Education*.

KEMPA, R., AYOB, A. (sous presse). Learning from group work in science. *International Journal of Science Education*.

KOULAUDIS, V., OGBORN, J. (sous presse). Science teachers' philosophical assumptions : how well do we understand them ? *International Journal of Science Education*.

LEACH, J., DRIVER, R., SCOTT, P., WOOD-ROBINSON, C. (sous presse). Children's ideas about ecology : pts. 1, 2, 3. *International Journal of Science Education*.

- LAKIN, S., WELLINGTON, J. (1994). Who will teach the "nature of science" : teachers' views of science and their implications for science education. *International Journal of Science Education*, 16 (2), 175-90.
- LEACH, J., SCOTT, P., DRIVER, R., MILLAR, R. (1994). *Students' Understanding of the Nature of Science (Working Papers 1-11)*. Leeds, C.L.I.S.P., University of Leeds.
- LIJNSE, P. (1994) (ed.). *European Research in Science Education*. The Hague, C.I.P.
- MILLAR, R. (1994). Research in Science Education at the University of York. In : P. Lijnse (ed.), *European Research in Science Education*. The Hague, C.I.P.
- LEO, E., GALLOWAY, D. (sous presse). Conceptual links between cognitive acceleration through science education and motivational style : a critique of Shayer and Adey. *International Journal of Science Education*.
- MARIANI, M., OGBORN, J. (sous presse). The ontology of physical events : a comparison of two groups. *International Journal of Science Education*.
- MASKILL, R., SELLES, S. (sous presse). The preparation and support of science students' teaching practice : students', teachers' and tutors' perceptions of what is required. *International Journal of Science Education*.
- MEESTER, M., MASKILL, R. (sous presse). First-year chemistry practicals in universities in England and Wales : organizational and teaching aspects. *International Journal of Science Education*.
- MONK, M. (sous presse). On the identification of principles in science that might inform research into students' beliefs about natural phenomena. *International Journal of Science Education*.
- N.C.C. (National Curriculum Council) (1990). *Curriculum Guidance 7 : Environmental Education*, York, National Curriculum Council.
- N.C.C. (National Curriculum Council) (1992). *Starting out with National Curriculum*. York, National Curriculum Council.
- OGBORN, J. (1994). Research in the Department of Science Education, Institute of Education, University of London. In : P. Lijnse (ed.), *European Research in Science Education*. The Hague, C.I.P. (pp. 91-8).
- PATON, R. (sous presse). On an apparently simple modelling problem in biology. *International Journal of Science Education*.
- POSTLETHWAITE, K. (1993). *Differentiated Science Teaching*. London, Open University Press.
- PRIEST, M. GILBERT, J. (1994). Learning in museums : situated cognition in practice. *Journal of Education in Museums* (sous presse).

- R.S.A. (Royal Society of Arts) (1992). *General National Vocational Qualifications : Centre Guidelines*. London, Royal Society of Arts.
- S.C.A.A. (Schools Curriculum and Assessment Authority) (1994). *Science in the National Curriculum : Draft Proposals*. London, S.C.A.A.
- S.C.A.A. (Schools Curriculum and Assessment Authority) (1994b). *Design and Technology in the National Curriculum*. London, S.C.A.A.
- SMITHERS, A., ROBINSON, P. (1991). *Beyond Compulsory Schooling : a numerical picture*. London, Council for Industry and Higher Education.
- SOLOMON, J., DUVEEN, J., SCOTT, L. (1994). Pupils' images of scientific epistemology. *International Journal of Science Education*, 16 (3), 361-73.
- SUTTON, C. (sous presse). Beliefs about science and beliefs about language. *International Journal of Science Education*.
- TWIGGER, D., BYARD, M., DRIVER, R., DRAPER, S., HARTLEY, R., HENNESSY, S., MOHAMED, R., O'MALLEY, C., O'SHEA, T., SCANLON, E. (1994). *International Journal of Science Education*, 16 (2), 215-30.
- VIGLIETTA, L., (1993). *Preconference book of the International Meeting of Science Education Journal, Gaeta, Italy (August)*. Available from I.R.R.S.A.E., Turin.
- WATTS, D.M., BENTLEY, D. (1994). Humanizing and feminizing school science ; reviving anthropomorphic and animistic thinking in constructivist science education. *International Journal of Science Education*, 16 (1), 83-98.
- WELLINGTON, J. (1994) (ed.). *Secondary Science : contemporary issues and practical approaches*. London, Routledge.
- WOOLNOUGH, B. (1994). Factors affecting students' choice of science and engineering. *International Journal of Science Education*, 16 (6), 659-676.

LE SAVOIR PRATIQUE DES ENSEIGNANTS SPÉCIALISÉS

Apports des didactiques spécifiques

Rafael Porlán Ariza
José Martín Toscano

L'objet de cet article est de proposer ce qui, selon les auteurs, devrait constituer le savoir professionnel souhaitable pour les professeurs. L'analyse des caractéristiques du savoir que "de fait" les professeurs possèdent habituellement, et les apports récents des didactiques spécifiques sont à la base de cette proposition en termes de savoir et de savoir-faire des professeurs spécialistes.

1. LE SAVOIR PROFESSIONNEL DES PROFESSEURS

Ce que nous allons développer au cours de ce travail* est relatif à la question suivante : quelles doivent être les caractéristiques des connaissances professionnelles des professeurs de sciences dans la perspective d'une éducation scientifique de qualité ? Quels doivent être leur savoir et leur savoir-faire professionnels ?

le savoir
professionnel à
l'origine...

Afin de développer notre point de vue sur le sujet, dans un premier temps, nous décrirons et nous analyserons le savoir professionnel dont "de fait" disposent les professeurs spécialisés et ses conséquences sur la formation des élèves.

... plus
disciplinaire que
pédagogique
chez les
enseignants du
secondaire

Habituellement, les savoirs professionnels des professeurs s'organisent autour des contenus des diverses disciplines ; les savoirs et compétences, plus en rapport avec l'activité d'enseignement, restent au second plan. Cela est d'autant plus vrai que, par exemple, beaucoup de professeurs du niveau d'enseignement secondaire ont plutôt tendance à se considérer comme des experts disciplinaires que comme des enseignants. Cependant, malgré cela, tous les professeurs développent inévitablement une connaissance tacite relative aux processus d'enseignement-apprentissage qui, en grande mesure, oriente et dirige leur conduite dans la classe (Bromme, 1988 ; Pérez et Gimeno, 1988 ; Porlán, 1989). D'après cela, le professeur en sciences, par exemple, se per-

* Une première version de cet article a fait l'objet d'une "conférence invitée" au Symposium européen "Les professeurs de sciences et de technologie : quelle formation pour quel enseignement" organisé par le Conseil de l'Europe, du 30 mars au 1^{er} avril 1994, à la Cité des Sciences et de l'Industrie de Paris.

savoir
disciplinaire :
conscient,
abstrait et
rationnel

savoir
d'enseignant :
tacite, concret,
non réfléchi

un savoir
professionnel trop
simpliste...

... se manifestant
par différentes
attitudes et
empêchant
d'aborder avec
rigueur
l'enseignement
scientifique

çoit plus en tant que biologiste, chimiste, physicien ou géologue qu'en tant que professeur, identifiant son savoir professionnel avec la connaissance de la discipline dans laquelle il est spécialiste, bien qu'il se conduise quotidiennement dans la classe selon certaines règles de comportement qui impliquent l'existence d'autres schémas de connaissances qui sans aucun doute font aussi partie de son savoir professionnel. Ces deux composantes du savoir professionnel des spécialistes, le savoir académique et disciplinaire et le savoir-faire tacite, possèdent des caractéristiques épistémologiques nettement différentes. Le premier est un savoir conscient, abstrait et rationnel basé sur la logique de la discipline, centré sur les produits de la science (lois, concepts et théories) et souvent, prenant peu en compte le contexte historique, sociologique et méthodologique de production scientifique. Le deuxième, en revanche, est un savoir tacite, concret et non réfléchi, fondé sur la logique de la pensée quotidienne, constitué par des principes et des règles de comportement liés à des contextes scolaires précis et peu en rapport avec les concepts et théories des sciences de l'éducation (Pope et Scott, 1983).

Les deux composantes du savoir professionnel se sont développées dans la pensée du professeur à travers des processus différents. Le savoir sur la discipline a été généré par l'étude et la réflexion théorique, souvent chargée d'académisme, tandis que le savoir-faire a été généré tant par l'intériorisation mimétique des formes de comportement des enseignants, observées par le professeur lui-même durant plusieurs années, alors qu'il était élève, que par des processus plus ou moins intuitifs d'essai et erreur durant le travail en classe.

Cette situation a pour conséquence une simplification considérable du savoir professionnel qui empêche les professeurs d'aborder avec rigueur la complexité des processus d'enseignement-apprentissage des sciences. Cette simplification, à laquelle nous faisons allusion, se manifeste par les aspects suivants (Porlán, 1987).

- La tendance à convertir directement les contenus des disciplines en contenus curriculaires, comme s'il n'existait pas de différences épistémologiques, psychologiques et didactiques entre les uns et les autres.
- Une vision des contenus curriculaires exclusivement conceptuelle et cumulative, qui ignore les comportements et les procédures impliquées dans l'enseignement des différentes disciplines.
- La tendance à considérer les élèves comme des récepteurs passifs d'information qui ne possèdent pas d'interprétation personnelle concernant des thématiques étudiées à l'école.
- La séparation réductionniste qui apparaît entre contenus et méthodologies, selon laquelle les contenus sont uniques et les méthodologies diverses, comme s'il n'y avait pas de

rapports d'interdépendance entre les processus de production de signification et les significations elles-mêmes.

- Le fait de concevoir l'apprentissage scientifique dans une perspective individuelle sans tenir compte de sa dimension sociale et de groupe.
- Un modèle sélectif d'évaluation, qui sanctionne et qui, loin de fournir des renseignements qui permettront de prendre des décisions fondamentales sur la progression de la classe, se propose de mesurer exclusivement la capacité des élèves à se souvenir des contenus.

2. LES BASES DU NOUVEAU SAVOIR PROFESSIONNEL

En conséquence, il s'avère nécessaire de définir un nouveau savoir professionnel pour la formation initiale et permanente des enseignants. Cette formation tiendrait compte des problèmes actuels de l'enseignement des disciplines, inclurait une perspective plus didactique au moment de formuler et choisir les contenus curriculaires et développerait des schémas de comportement plus puissants et fondés. Nous essayerons, dans ce qui suit, de décrire cette problématique ainsi que les sources et les contenus d'un nouveau savoir professionnel pertinent pour l'aborder.

Durant les vingt dernières années, la recherche en didactiques spécifiques, et particulièrement en didactique des sciences, a formulé un ensemble de questions que l'on considère comme essentielles pour changer l'enseignement (Astolfi et Develay, 1989 ; Porlán, 1993a). L'enseignement traditionnel est caractérisé par un enseignement fondé sur la transmission verbale des contenus qui n'éveille pas l'intérêt des élèves, qui produit un apprentissage mécanique et répétitif, et qui provoque des attitudes de refus chez un pourcentage relativement important d'élèves. En même temps, a émergé un certain consensus entre la communauté de chercheurs et les secteurs les plus innovants du corps professoral, pour proposer un modèle didactique alternatif fondé sur le constructivisme et sur la recherche en classe (García, Martín et Giráldez, 1986 ; Giordan et De Vecchi, 1987 ; Porlán, García et Cañal, 1988 ; Porlán, 1993b). Le développement de ce nouveau modèle implique un changement en profondeur des capacités et des compétences professionnelles des enseignants en sciences. Concrètement, il faut un professionnel capable d'aborder les questions suivantes.

- **Par rapport à l'analyse didactique de la discipline,** quels sont les schémas conceptuels d'une discipline qui sont adaptés à son enseignement ? Quelles notions ou concepts structurent et organisent ces schémas ? Lesquels d'entre eux permettent d'établir des rapports "pont" avec les

définir un nouveau savoir professionnel pour la formation

promouvoir un modèle didactique fondé sur le constructivisme et sur la recherche en classe

nécessité d'aborder de nombreuses questions...

- ... didactiques... autres matières curriculaires ? Quels sont les aspects méthodologiques de la discipline qui ont un intérêt éducatif ? Quels sont les problèmes éthiques, environnementaux ou sociaux abordés par la discipline ? (Gil, 1993b)
- ... historiques... • **Par rapport à l'analyse historique de la discipline**, quelle a été son évolution historique et autour de quels problèmes fondamentaux ? De quelle façon ont évolué les points de vue globaux et les "cosmologies" ? Quels obstacles épistémologiques ou idéologiques se sont présentés ? Quelles étaient les théories en débat au moment des grands changements et dans quel contexte social ? (Gil, 1993b)
- ... culturelles, psychologiques... • **Par rapport à l'analyse de la culture et de la pensée quotidienne**, quels sont les cadres de l'expérience sociale et culturelle les plus pertinents par rapport au domaine, à la matière ou à la discipline ? Quelles sont les conceptions idéologiques et culturelles impliquées dans ces domaines d'expérience ? Concrètement, quelles sont les conceptions des élèves concernant les objets d'étude essentiels de la discipline ? Quelles sont leurs caractéristiques ? Quels sont leurs niveaux d'avancement ? Quels sont les difficultés et les obstacles qui apparaissent entre les conceptions les plus simples et les conceptions les plus complexes ? (García et García, 1992 ; Astolfi et Peterfalvi, 1993)
- ... curriculaires... • **En fonction des trois points précédents et par rapport à l'élaboration des contenus scolaires**, quelle est la connaissance scolaire souhaitable pour les élèves par rapport à la discipline dont il est question ? Comment formuler et organiser cette connaissance en prenant en compte les aspects impliqués, qu'ils soient épistémologiques, historiques, sociaux ou autres ? Autour de quels sujets d'étude doit-on organiser le travail scolaire, afin de le rendre attractif pour les élèves et favoriser en même temps l'évolution de leurs conceptions ? Quels seraient les critères didactiques les plus appropriés afin de choisir et organiser ces sujets d'étude ? (Groupe *Investigación en la Escuela*, 1991)
- ... méthodologiques, procédurales... • **Par rapport aux procédures méthodologiques favorisant l'apprentissage des élèves et l'évolution de leurs concepts**, quelles sont les règles méthodologiques qui favorisent la construction significative de savoirs scientifiques dans le cadre scolaire ? Quelles sont les procédures qui facilitent pour les professeurs et pour les élèves la prise de conscience des points de vue existant en classe par rapport à un objet d'étude déterminé ? Comment et quelles informations doivent être introduites pour favoriser l'évolution réelle de ces points de vue ? Comment adapter le processus à la diversité de niveaux de développement dans la classe ? Comment évaluer le degré d'apprentissage des élèves, c'est-à-dire le degré d'évolution de leurs conceptions ? Qu'est-ce qui doit être évalué et comment faire pour que les renseignements obtenus orientent les décisions didactiques des professeurs sans conditionner ni restreindre la liberté d'expression des élèves dans la classe ? (García et García, 1989)

De toute évidence, dans le cadre de cet article, il n'est pas possible de donner une réponse complète et approfondie à tous ces problèmes. Cependant, nous essayerons de déterminer, comme nous l'avons signalé, les différentes sources qui peuvent contribuer à la formation d'un savoir professionnel pertinent pour aborder ces problèmes. Nous décrivons également quelques hypothèses de conduite professionnelle que nous expérimentons dans le cadre du Projet Curriculaire I.R.E.S. (Recherche et rénovation scolaire) (Groupe *Investigación en la Escuela*, 1991).

3. LES SOURCES DU SAVOIR PROFESSIONNEL

Le savoir des professeurs spécialistes ne peut pas se limiter à la connaissance académique et formelle d'une discipline donnée. Le nouveau savoir professionnel doit être organisé par des schémas de connaissances théoriques et pratiques à caractère intégrateur. Ces schémas doivent se nourrir d'au moins ces quatre sources de contenus professionnels qui sont :

- les différentes disciplines scientifiques, chacune analysée depuis une perspective logique, historique, sociologique et épistémologique, ce qui constituerait la **dimension scientifique** du savoir professionnel ;
- les différentes disciplines qui étudient les problèmes de l'enseignement et de l'apprentissage en général, ce qui constituerait la **dimension psychopédagogique** du savoir ;
- l'expérience acquise elle-même, aussi bien en tant que professeur qu'en tant qu'élève (dans le cadre de la formation initiale), et l'expérience accumulée historiquement par les groupes de professeurs innovateurs, ce qui constituerait la **dimension empirique** du savoir ;
- enfin, les didactiques spécifiques qui seraient utilisées en tant que disciplines de synthèse intégrant les trois dimensions précédentes.

Cependant, ces quatre sources de contenus professionnels ne jouent pas le même rôle. Les deux premières, les disciplines scientifiques et psychopédagogiques, relèvent du domaine du savoir académique ; elles essayent d'élargir le cadre restreint qu'ont généralement les professeurs, et introduisent spécialement l'idée que les processus d'enseignement-apprentissage peuvent et doivent être décrits et analysés rigoureusement. La troisième, la dimension empirique, prétend élargir les schémas d'intervention, habituellement fondés sur des routines et des principes stéréotypés, en proposant d'autres formes d'action d'enseignement plus complexes et innovantes.

un savoir
organisé par des
schémas
intégrateurs...

... se nourrissant
de quatre
sources...

... ne jouant pas
le même rôle

production
de nouveaux
concepts
complexes,
relatifs à
l'enseignement
de chaque
discipline

élaboration
d'une
connaissance
didactique...

... qui doit
orienter et
diriger les
enseignements
tout en étant très
adaptable...

... et en
permettant une
évolution
permanente du
comportement
professionnel

Enfin, les didactiques spécifiques se situent sur un plan épistémologique intermédiaire entre le savoir formalisé et le savoir-faire empirique. Elles constituent ainsi ce que nous pourrions appeler un **savoir pratique**. Ici l'idée de pratique n'est pas utilisée dans le sens de la simple action mais dans celui que donne la **praxis**, c'est-à-dire dans le sens de l'**action transformatrice justifiée** (Porlán, 1993a). Ces savoirs pratiques sont le résultat d'une réflexion critique qui mènerait à l'établissement de liens importants entre les savoirs académiques et les savoirs empiriques, produisant ainsi de nouveaux concepts plus complexes, relatifs spécifiquement au domaine d'enseignement de chaque discipline. Ainsi, par exemple, à partir de la didactique des sciences, il est possible de formuler des hypothèses concernant les contenus scolaires actuels et ce qu'ils devraient être, en prenant comme référence certaines données issues de l'histoire des sciences, des concepts d'ordre épistémologique tels que **obstacle épistémologique** (Bachelard, 1938) ou des concepts d'ordre psychologique tels que **zone proximale de développement** (Vigotsky, 1978). Ainsi, il est possible de formuler des hypothèses sur la méthodologie de l'enseignement, fondées sur des propositions constructivistes, employant des concepts psychologiques et épistémologiques tels que **conflit cognitif** ou **changement conceptuel** (Norman, 1982 ; Claxton, 1984).

Néanmoins, le nouveau savoir professionnel n'est pas le simple cumul de connaissances partielles de chacune des sources analysées, mais le résultat de l'élaboration, à partir de ces sources et des problèmes spécifiques à la profession, d'une connaissance authentique, d'ordre strictement didactique, pratique et non simplement technique avec de nouvelles élaborations conceptuelles qui soutiennent des principes, des schémas et des guides d'action flexibles, adaptables et doués d'un certain degré de complexité (Porlán et García, 1990). Il s'agit d'une connaissance qui doit orienter et diriger consciemment la conduite des enseignants tout en s'adaptant à des situations et à des moments scolaires les plus divers. Elle doit prescrire avec rigueur et bien fondé les règles de comportement professionnel sans réprimer pour autant la spontanéité indispensable dans les processus d'enseignement-apprentissage.

Ces principes et schémas, parce qu'ils sont conscients et bien fondés, c'est-à-dire, qu'ils essayent d'être cohérents par rapport à une théorie ou à un modèle didactique plus général, sont modifiables et par là même peuvent être évalués par l'expérience. Ils permettent ainsi un savoir évolutif et dynamique et un processus d'actualisation et de développement professionnel permanent, allant au-delà du réductionnisme et de l'immobilité caractéristiques des routines de comportement qui tacitement dirigent l'enseignement traditionnel (Porlán et Martín, 1991 ; Porlán et García, 1992).

4. NOTRE PROPOSITION DE SAVOIR PROFESSIONNEL SOUHAITABLE

des hypothèses liées au modèle pédagogique constructiviste et au modèle d'enseignant-chercheur

Tout ce qui précède constitue un des sujets d'expérimentation du Projet Curriculaire, IRES. Depuis ces dernières années, nous étudions, dans le cadre de ce projet, une série d'hypothèses à propos du contenu souhaitable du nouveau savoir professionnel. Ces hypothèses sont liées à un modèle d'enseignement des sciences, fondé sur le constructivisme et sur l'apprentissage de l'élève par investigation, ainsi qu'à un modèle d'enseignant qui serait chercheur par rapport à son activité d'enseignement (Porlán, 1992 et 1993 b). Nous essayerons de décrire brièvement quelques-unes d'entre elles.

nécessité d'une connaissance approfondie de la discipline et de ses rapports avec les autres disciplines...

1. L'enseignant d'une discipline spécifique devrait connaître en profondeur l'objet d'étude, les problèmes, les lois et les théories fondamentales de la discipline en question ainsi que les concepts "pont" avec d'autres disciplines rapprochées, à propos desquelles il devrait posséder une information générale qui lui permettrait de participer à des projets interdisciplinaires avec des professeurs d'autres spécialités.

... nécessité d'une connaissance de l'histoire de la discipline...

2. Il devrait connaître l'histoire des sciences, concernant sa propre discipline tout en établissant des liens, pour chaque période historique, avec l'état de la question dans d'autres secteurs du savoir. Il devrait comprendre le contexte historique, social et idéologique dans lequel a été insérée chaque problématique scientifique importante, ainsi que les obstacles épistémologiques qu'elle a rencontrés et les modèles ou paradigmes qui rivalisaient pour établir une explication adéquate.

... nécessité d'une initiation à la recherche scientifique...

3. Selon notre point de vue, l'enseignant devrait avoir été initié à la recherche, de façon à acquérir une certaine compréhension pratique de ce que signifie la méthodologie scientifique ; tant dans les aspects les plus généraux que dans ceux qui sont plus en rapport avec la discipline dans laquelle il est spécialiste.

... afin d'acquérir une certaine conception épistémologique de la science

4. Ainsi, l'enseignant devrait posséder une certaine conception épistémologique concernant la science, la méthode scientifique et les autres formes de connaissance ; selon cette conception, la connaissance scientifique et disciplinaire ne serait pas une connaissance neutre, absolue et supérieure, mais relative, évolutive, conditionnée historiquement et socialement, située dans un certain contexte de production et d'application dans lequel elle a une certaine validité. Ainsi, le professeur devrait comprendre la méthode scientifique comme un ensemble de procédures rigoureuses qui permettent, face à un problème scientifique donné, de confronter à la réalité et à d'autres investigations, un corps théorique déterminé qu'il essaye de décrire, de comprendre et même parfois de transformer. Il s'agit d'aller au-delà de l'ancienne conception empiriste et naïve selon laquelle la connaissance est découverte, à partir de la réalité, par un

établir des rapports entre la discipline et les grands problèmes socio-culturels

savoir détecter, analyser et interpréter les conceptions des élèves

se référer constamment à des méta-connaissances, des procédures générales et des valeurs de base

organiser le curriculum dans une logique plus didactique que disciplinaire

processus inductif qui va de l'observation neutre à la théorie.

5. Enfin, et de ce point de vue, l'enseignant devrait être en mesure d'établir des rapports significatifs entre la discipline dans laquelle il est spécialiste et les grands problèmes socio-culturels. Il doit faire en sorte de pouvoir comprendre sa discipline en tant qu'une activité qui obéit à des intérêts divers et qui de ce fait requiert un contrôle démocratique de la part des citoyens, ce qui justifie la nécessité d'une formation de base pour l'ensemble de la population.

6. Par ailleurs, l'enseignant devrait savoir détecter, analyser et interpréter les conceptions et les représentations de ses élèves. Il devrait pouvoir élaborer des instruments simples afin de détecter ces conceptions, de poser les questions pertinentes, d'analyser, d'établir des catégories et de modéliser les réponses et de les interpréter par la didactique (Cubero, 1989 ; García, 1991). Cela implique d'accepter l'idée qu'il est indispensable de développer un savoir relativement proche de celui déjà construit par les élèves pour pouvoir orienter leur apprentissage (Cañal, García et Porlán, 1988). C'est pourquoi l'enseignant devrait être en mesure de dépasser l'idée, si fréquente dans l'enseignement, que les élèves apprennent en écoutant et en mémorisant le discours du professeur ; comme s'ils ne possédaient pas, ou comme s'ils n'étaient pas capables de posséder des explications personnelles sur les phénomènes et les problèmes traités dans les différentes disciplines.

7. En ce qui concerne les objectifs et les contenus de l'enseignement, l'enseignant devrait savoir formuler un ensemble de métaconnaissances, telles que le "changement", l'"interaction", ou le "système", un ensemble de procédures générales, telles que la capacité de "reconnaître les problèmes", d'"analyser et confronter les points de vue", et une série de valeurs de base telles que l'"autonomie", la "collaboration" et d'autres valeurs, qui serviraient de référence continue dans le processus d'enseignement-apprentissage (García et García, 1992).

8. Plus concrètement, l'enseignant devrait aussi savoir élaborer des trames ou des cartes de connaissances, de procédures et d'attitudes qui relient les informations relevant des diverses disciplines scientifiques, aux problèmes pertinents et intéressants pour les élèves (García, 1992 ; Martín et Macías, 1992 ; Martín et Porlán, 1994). Cela signifie que le professeur doit savoir organiser le curriculum dans une logique différente de la logique strictement disciplinaire. Cette logique, de nature didactique, c'est-à-dire guidée par la volonté d'assurer un enseignement de qualité, essaiera de garantir aux contenus scolaires un niveau progressif de cohérence scientifique, en même temps qu'un degré acceptable de signification psychologique pour les élèves. De là notre proposition d'établir un curriculum à caractère ouvert et flexible qui puisse être présenté aux élèves sous forme de problèmes à étudier. Afin de ne pas tomber dans une spon-

tanéité pédagogique stérile, ces problèmes devront nécessairement être analysés à partir des différentes disciplines pour construire autour d'eux des trames de connaissances, des procédures et des valeurs qui aideront le professeur à diriger le processus d'apprentissage des élèves.

relier élaboration
curriculaire et
connaissance
des conceptions
des élèves

9. Mais le travail d'élaboration curriculaire du professeur ne s'achève pas ici. Tout le travail précédent aurait bien peu d'utilité s'il n'était pas relié aux conceptions et aux représentations des élèves. Si nous admettons que les élèves ont leurs propres schémas déjà construits, souvent spontanément et selon l'évidence du sens commun, suffirait-il de leur présenter un problème attractif pour que, au fil de leurs recherches sur ce problème, ils substituent à leurs propres idées celles que nous avons formulées dans nos trames de contenus, même si ces trames présentent le savoir d'une manière plus intégrée. Nous pensons que cela est insuffisant. Si le professeur souhaite affronter ce dilemme, c'est-à-dire, s'il cherche à orienter efficacement le processus d'apprentissage pour qu'il soit réel et non seulement apparent, il devra analyser les obstacles qui ont été identifiés par la communauté scientifique pour améliorer sa description et sa compréhension du problème posé ; il devra aussi analyser et catégoriser les conceptions initiales de ses élèves, en partant des conceptions les plus simples vers les plus complexes, en déterminant les possibles obstacles qui se présentent entre les unes et les autres. Dans la mesure du possible, il devra consulter la bibliographie accessible sur la recherche en didactique des sciences et plus précisément, sur les travaux concernant les représentations des élèves à propos de la thématique en question ou à propos d'autres thématiques conceptuellement rapprochées. Finalement, il devra analyser et comparer toute l'information recueillie et établir une **hypothèse de progression** qui, prenant comme référence le niveau de départ des élèves en passant par des formulations intermédiaires possibles dans la trame de la connaissance scolaire, prescrira, sous forme d'hypothèse didactique, un itinéraire d'apprentissage permettant aux élèves de surmonter quelques-uns des obstacles les plus évidents (García, 1994). Cette façon d'agir suppose d'admettre que les connaissances n'ont pas une seule formulation possible mais plusieurs progressivement plus larges et plus complexes. Cette façon d'agir implique en définitive de faire une analyse didactique des contenus, en repoussant les limites de notre savoir professionnel.

analyser les
obstacles
rencontrés par
les élèves...

... pour prescrire
un itinéraire
d'apprentissage
permettant de
les surmonter

10. En conséquence, face à un problème intéressant et riche en potentialité pour l'apprentissage et à une hypothèse de progression de la connaissance scolaire qui lui est associée, le professeur devrait pouvoir programmer un plan d'activités favorisant la recherche des élèves, l'évolution et l'amélioration de leurs conceptions initiales. Ce plan d'activités devrait être utile aussi au professeur pour obtenir des renseignements précis sur l'apprentissage réel de ses élèves et sur la dynamique psychosociale de la classe (García et García,

programmer un
plan d'activités...

... de différents types

1989 ; Porlán, 1993b). Ainsi, l'enseignant devrait savoir proposer, appliquer et évaluer des activités de différents types :

- des activités permettant d'accéder à la pensée spontanée des élèves et d'élargir leur champ d'intérêts ;
- des activités permettant de formuler et de définir des problèmes de la recherche ;
- des activités permettant de confronter et discuter les conceptions des élèves ;
- des activités permettant de structurer, d'appliquer et de généraliser les nouvelles conceptions possibles construites par les élèves tout au long de la recherche.

des difficultés pour acquérir ce nouveau savoir professionnel...

... nécessaire à la résolution des problèmes réels rencontrés en classe

Jusqu'ici, nous avons décrit le nouveau savoir professionnel, objet d'expérimentation du Projet IRES. Nous avons commencé ce travail par l'analyse critique des traits caractéristiques du savoir professionnel actuel. Nous avons élaboré cette analyse d'une manière extrêmement générale, conscients qu'elle ne renvoyait qu'une image stéréotypée, conscients que de nombreux collègues tentent, parfois à l'encontre de trop d'éléments administratifs et professionnels, de développer et d'élargir leurs connaissances professionnelles dans le sens où nous l'exposons dans ce travail. Nous exprimons notre solidarité à leur égard. Mais, il est vrai aussi que les politiques institutionnelles et de formation continuent trop souvent à répondre à un modèle de professionnalisation où le savoir disciplinaire académique reste déconnecté des problèmes didactiques réels, comme si enseigner et apprendre les sciences ne consistaient qu'à réciter des contenus et à les mémoriser. Nous avons essayé d'apporter une autre image du savoir professionnel qui soit cohérente avec un modèle alternatif d'enseignement basé sur le constructivisme et sur l'investigation dans la classe. C'est pourquoi, nous avons analysé, d'un point de vue plus didactique, les sources utilisées habituellement pour définir la connaissance professionnelle, les sources disciplinaires et d'autres plus liées aux aspects psychopédagogiques et empiriques du travail des enseignants. Enfin, nous avons présenté une proposition, assez limitée encore, sur les contenus de ce nouveau savoir pratique, dans l'espoir d'apporter quelques éléments pour approfondir le débat. La perspective choisie, peu fréquente, consiste à considérer les didactiques spécifiques comme des disciplines "émergentes" (Gil, 1993 ; Porlán, 1993a), fondées sur une grande ouverture interdisciplinaire et sur une certaine capacité de médiation épistémologique entre savoirs de différentes natures.

Rafael PORLÁN ARIZA
Département Didactique des Sciences
Université de Séville - Espagne

José MARTÍN TOSCANO
Institut des Sciences de l'Éducation
Université de Séville - Espagne

Membres du groupe Didactique et
recherche scolaire (D.I.E.) du projet IRES

La traduction a été assurée par Cristina Carballo avec la collaboration de Claudine Larcher et Mirtha Bazan.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ASTOLFI, J.-P. et DEVELAY, M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris : PUF, *Que sais-je ?*
- ASTOLFI, J.-P. et PETERFALVI, B. (1993). "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales". *Aster*, 16, *Modèles pédagogiques 1*.
- BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Librairie Philosophique J. Vrin.
- BROMME, R. (1988). "Conocimientos profesionales de los profesores". *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1), 19-29.
- CAÑAL, P., PORLÁN, R. et GARCÍA, J.E. (1988). "Ideas previas de los alumnos en Ciencias de la Naturaleza". In G. Sastre y M. Moreno (eds.). *Enciclopedia práctica de la Pedagogía*, Barcelona : Planeta, vol. 1, 235-257.
- CLAXTON, G. (1984). *Live and Learn. An Introduction to the Psychology of Growth and Change in Everyday Life*. Londres : Harper & Row Publishers. (Trad. cast. *Vivir y aprender*. Madrid : Alianza Editorial, 1987).
- CUBERO, R. (1989). *Como trabajar con las ideas de los alumnos*. Sevilla : Díada.
- GARCÍA, F.F. (1992). "El medio urbano". *Cuadernos de Pedagogía*, 209, 14-17.
- GARCÍA, F.F. et al. (1991) "Aproximación a las concepciones sobre la ciudad a partir del concepto de equipamiento urbano". *Investigacion en la Escuela*, 14, 63-87.
- GARCÍA, J.E. et GARCÍA, F.F. (1992). *Aprender investigando*. Sevilla : Diada.
- GARCÍA, J.E. et GARCÍA, F.F. (1992). "Investigando nuestro mundo". *Cuadernos de Pedagogía*, 209, 10-13.
- GARCÍA, J.J., MARTÍN, J. et GIRALDEZ, M. (1986). "Los niños investigan (Los maestros también)". *Cuadernos de Pedagogía*, 209, 10-13.
- GIL, D. (1993a). "Psicología Educativa y Didáctica de las Ciencias. Los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias como lugar de encuentro". *Infancia y Aprendizaje*, 62-63, 171-187.
- GIL, D. (1993b). "Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación". *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 197-213.
- GIORDAN, A. et DE VECCHI, G. (1987). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchâtel (Suisse) : Delachaux et Niestlé S.A. (Trad. cast. *Los orígenes del saber*. Sevilla : Diada, 1988).

GRUPO INVESTIGACIÓN EN LA ESCUELA (1991). *Proyecto curricular "Investigación y Renovación Escolar"* (IRES). Cuatro volúmenes. Version provisoire. Sevilla : Diada.

MARTÍN, J. et MACÍAS, O. (1992). "La alimentación humana". *Cuadernos de Pedagogía*, 203, 46-54.

NORMAN, D.A. (1982). *Learning and Memory*. New York : W. H. Freeman and Company. (Trad. cast. *El aprendizaje y la memoria*. Madrid : Alianza Editorial, 1985).

PEREZ GOMEZ, A. et GIMENO, J. (1988). "Pensamiento y accion en el profesor : de los estudios sobre la planificación al pensamiento práctico". *Infancia y aprendizaje*, 42, 37-63.

POPE, M. L. et SCOTT, E. M. (1983). "Teachers' Epistemology and Practice". In R. Halkes & J. K. Olson. *Teacher Thinking : A New Perspective on Persisting Problems in Education*. Lisse : Swets & Zeitlinger. (Trad. cast. "La experiencia personal y la construccion del conocimiento en ciencias". In R. Porlán, J.E. García y P. Cañal. *Constructivismo y enseñanza de las Ciencias*. Sevilla : Diada, 1988).

PORLÁN, R. (1987). "L'épistémologie de la pensée du professeur : modèles sur la genèse des connaissances". In A. Giordan et J.L. Martinand. *Modèles et simulation, Actes des IXèmes Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*, 599-604. Paris.

PORLÁN, R. (1989). "Teachers' thought and school research". *Cambridge Journal of Education*, 19 (2), 147-153.

PORLÁN, R. (1992). "Investigacion y renovacion escolar". *Cuadernos de Pedagogía*, 209, 8-9.

PORLÁN, R. (1993a). "La Didáctica de las Ciencias. Una disciplina emergente". *Cuadernos de Pedagogía*, 210, 68-71.

PORLÁN, R. (1993b). *Constructivismo y escuela*. Sevilla : Diada.

PORLÁN, R. et GARCÍA, J.E. (1990). "Cambio escolar y desarrollo profesional : un enfoque basado en la investigación en la escuela". *Investigación en la escuela*, 11, 25-37.

PORLÁN, R. et GARCÍA, S. (1992). "The change of teachers' conceptions : a strategy for inservice science teachers' education". *Teaching and Teacher Education*, 8 (5/6), 537-548.

PORLÁN, R. et GARCÍA, J.E. et CAÑAL, P. (1988). *Constructivismo y enseñanza de las Ciencias*. Sevilla : Diada.

PORLÁN, R. et MARTÍN, J. (1991). *El diario del profesor*. Sevilla : Diada.

VYGOTSKI, L. S. (1978). *Mind in society, the development of higher psychological processes*. Massachusetts : Harvard University Press. (Trad. cast. *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona : Grijalbo, 1979).

LA DIDACTIQUE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE ET LA FORMATION DES ENSEIGNANTS

Jean-Louis Martinand

Les conceptions sur la formation des maîtres sont implicites, diverses, contradictoires ; elles oublient trop souvent que les maîtres enseignent des disciplines scolaires. Comment penser aujourd'hui la formation des enseignants à la prise en charge de leur discipline ? Cet article propose un modèle d'analyse qui s'appuie sur deux idées directrices :

- 1/ l'idée de référence (les activités scolaires sont des images de pratiques extérieures à l'école et prises comme références),*
- 2/ l'idée de professionnalité (les enseignants doivent acquérir une double technicité, dans les pratiques de référence d'une part, et dans le guidage des activités et des apprentissages scolaires d'autre part).*

L'article présente enfin quelques réflexions sur les formations actuelles, inspirées par le "modèle référence-professionnalité".

un cadre pour
penser la
formation

L'ambition limitée de cette "intervention" (1) est de proposer un cadre pour penser la formation des enseignants de sciences et de technologie. En effet, dans la dernière période, le développement des recherches scientifiques, l'accumulation des connaissances, les mutations des techniques, l'allongement des durées d'études, les spécialisations des enseignements universitaires, déstabilisent la formation des enseignants. Tous les pays sont confrontés à ces défis ; et si les solutions adoptées ne sont pas nécessairement les mêmes, du moins une réflexion commune peut-elle être féconde.

1. LES APPORTS DE LA RECHERCHE DIDACTIQUE

Depuis une vingtaine d'années, la recherche en didactique des disciplines scientifiques et technologiques s'est développée et les résultats en apparaissent dans les publications, les revues des différents centres de recherches : on peut citer, à titre d'exemples et pour des aires culturelles différentes, les revues : *International Journal of Science Education*, *Ensenanza de las Ciencias*, *Investigacion en la Escuela*, *Aster*, *Didaskalia*. Les revues d'associations de

(1) Ce texte reprend l'intervention faite au Symposium Européen "Les professeurs de science et de technologie : quelle formation pour quel enseignement", organisé par le Conseil de l'Europe, du 30 mars au 1^{er} avril 1994, à la Cité des Sciences et de l'Industrie de Paris.

professeurs, les publications de centres de formation d'enseignants, les actes de colloques, témoignent de l'existence d'une communauté.

recherches sur les problèmes d'enseignement et d'apprentissage du point de vue des contenus

Qu'est-ce que nous proposent aujourd'hui ces recherches ? Contrairement à une idée répandue, la recherche didactique ne s'occupe pas avant tout des moyens et des procédés de transmettre des connaissances indépendamment des contenus. On peut dire qu'aujourd'hui elle étudie les problèmes d'enseignement et d'apprentissage du point de vue des contenus, avec une responsabilité vis-à-vis des contenus, ce qui ne veut pas dire que les contenus seraient son objet propre et exclusif. Il y a là un changement de sens d'un mot, comme c'est souvent le cas lorsque s'ouvre un nouveau champ de recherche.

deux orientations

Comme c'est aussi souvent le cas, l'émergence de la recherche introduit une tension, en tout cas une différence, entre deux orientations : vers la production de connaissances fiables, cumulatives, validées, sur les processus d'enseignement et d'apprentissage, et vers l'instrumentation et l'élucidation des décisions et des interventions volontaires dans ces mêmes processus. On peut reconnaître là les distinctions habituelles entre recherches à visées "fondamentales" et recherches de "développement". Mais dans le cas des sciences et techniques de la culture, les choses ne sont pas si simples : par exemple, les avancées théoriques sont jusqu'à présent, plutôt venues de recherches de "développement" que des recherches "fondamentales".

recherches pour la connaissance

Du côté des recherches pour la connaissance, les travaux se sont concentrés sur les conduites des apprenants, parfois des enseignants, plus rarement sur leurs interactions. Quatre domaines d'étude fournissent de nombreux résultats :

- la représentation des choses, des phénomènes, des processus, des procédés, des instruments ;
- l'appropriation des concepts, des modèles, des théories, des langages, des systèmes symboliques ;
- les raisonnements et stratégies pour accomplir des tâches, résoudre des problèmes ;
- l'image des disciplines, des pratiques, des valeurs, des rôles.

recherches pour l'intervention

Du côté des recherches pour l'intervention, les travaux de recherche, souvent liés à des innovations (dont l'action-recherche est une modalité), concernent différents aspects du curriculum (programme et moyens de sa mise en oeuvre) :

- les évaluations des apprenants, des enseignants, des systèmes éducatifs ;
- les composantes des curriculums, en particulier les moyens informatiques, les activités expérimentales, les manuels ;
- la sélection, la formulation des objectifs et des contenus ; parfois il y a conception-essai-évaluation d'ensemble d'un curriculum.

2. ENSEIGNER LA DIDACTIQUE OU MIEUX PENSER LA FORMATION ?

introduire les
acquis de la
recherche
didactique...

Le très bref panorama précédent n'a pour fonction que de convaincre que les acquis de la recherche didactique sont visibles et importants : remise en cause de lieux communs, découverte de paradoxes, ouverture de possibilités éloignées des coutumes, étayages d'interventions, les résultats et les démarches de la recherche peuvent donner matière à la formation. C'est bien ce que pensent de nombreux chercheurs en didactique (Vergnaud et al. 1994).

Mais leurs propositions ne passent pas toujours très facilement dans les centres de formation d'enseignants où ils ne sont pas les seuls formateurs. Les réactions au nom d'arguments variés, et en fonction de positions ou de statuts divers, sont même quelquefois assez vives : de quel droit la didactique "qui est loin d'être une science assurée" aurait-elle à jouer un rôle majeur, et même fondateur dans la formation des maîtres ?

... dans une
formation qui
s'est construite
indépendamment...

Pratiquement, il ne faut pas oublier que l'enseignement et la formation existent déjà. L'intervention des didacticiens-chercheurs ne peut pas se légitimer par les seuls acquis de la recherche : ceux-ci sont loin de pouvoir se substituer aux formations qui se sont progressivement construites sur une base empirique, et dont la place a été stabilisée dans l'institution par les procédures de qualifications ou de sélections. Il revient aux didacticiens de montrer qu'ils peuvent remplir les fonctions habituelles des formateurs, et que leurs compétences de chercheurs permettent des progrès.

Théoriquement, c'est une illusion propre aux chercheurs - et éventuellement à quelques administrateurs - que de croire qu'en principe, même si on n'en est pas encore là, il va être possible de fonder entièrement la formation professionnelle sur les seuls résultats de la recherche. Aucune formation professionnelle, dans quelque domaine que ce soit, n'a pu être construite ainsi ; chacune doit composer avec l'"état de l'art", les normes techniques, les exigences sociales. La recherche peut anticiper, accompagner, réguler les évolutions ; la prétention de les déterminer est (heureusement) hors de sa portée.

... pour anticiper,
accompagner,
réguler...

Mais cette tâche d'anticipation, d'accompagnement et de régulation est moins simple qu'il n'y paraît. Avons-nous aujourd'hui les concepts adéquats, sinon les meilleurs, pour poser les problèmes et esquisser des cadres de solutions possibles ? Sommes-nous au fond capables de concevoir la formation comme un problème, et non comme un assemblage de solutions existantes et non questionnables ?

... et mieux :
problématiser la
formation

C'est dans cette perspective de problématisation de la formation des enseignants des sciences et technologie, renvoyant aux recherches et réflexions à visées curriculaires, que se situe cet exposé. Mais il convient d'abord de prendre la mesure des défis auxquels nous sommes confrontés.

3. LES NOUVEAUX DÉFIS DE LA FORMATION

Nouveaux contenus

des contenus
modifiés de plus
en plus
rapidement

Dans l'ordre des choses auxquelles tout le monde pense, viennent sans doute en premier lieu les nouveaux contenus. La pression exercée par l'accumulation des connaissances scientifiques, la spécialisation des compétences techniques, entraînent des modifications de plus en plus rapides de contenu. On peut se poser la question de savoir si du point de vue de l'éducation générale, cette inflation, cette diversification, ces "révolutions" sont réellement nombreuses et radicales à l'échelle de la vie humaine et si les restructurations des contenus ont vraiment besoin d'être si fréquentes ; mais force est de reconnaître que les contenus sont modifiés et que ces remaniements répétés sont un défi.

Nouveaux moyens

garder l'initiative
face à des
pressions plus
économiques
que
pédagogiques

Les "nouveaux" moyens d'information et de communication, les techniques informatiques d'assistance à l'enseignement et à l'apprentissage sont loin d'avoir montré toutes leurs possibilités. La pression, est sans doute d'origine industrielle et son sens premier est économique plus que pédagogique ; mais ce n'est pas une raison pour l'ignorer. L'enjeu est ici de garder l'initiative sur le moyen (ordinateur, télé-enseignement, audiovisuel) c'est-à-dire de bénéficier de tout ce que peut apporter le moyen, compte tenu des spécificités des contenus et des apprentissages.

Nouvelles missions

initier aux
problèmes
d'environnement,
de santé,
de sécurité

L'enseignement secondaire est devenu un enseignement de masse. D'abord il doit assumer, pour tous, des tâches d'instruction que l'enseignement primaire réalisait en fait pour quelques-uns avant la fin des études obligatoires. L'éducation scientifique et technologique se place bien dans ce cadre. En même temps des enjeux importants pour les citoyens nouveaux, ou renouvelés, doivent être pris en charge par l'enseignement secondaire : éducation pour l'environnement, pour la santé, à la sécurité. Il ne s'agit pas forcément d'introduire des disciplines ou même des contenus, mais d'amener les disciplines à apporter leur contribution, pour mieux poser les problèmes d'environnement, de santé, de sécurité.

Nouveaux élèves

La prolongation des études pour tous amène dans les classes de l'enseignement secondaire des élèves que les enseignants n'avaient pas l'habitude de "traiter". Leurs rapports au milieu scolaire, aux enseignants, leur rapport au savoir et à sa signification, ne sont plus les mêmes. La

une nouvelle
"connivence"
enseignant-
enseigné à
construire

"connivence" enseignants-enseignés doit être reconstruite sur d'autres bases qui affectent les démarches, les moyens, les contenus.

Il en est de même à l'université : parmi les étudiants, ceux qui deviennent enseignants ont suivi des parcours, des échecs, des expériences, ont des aspirations, qui en font des acteurs aux caractéristiques inédites, et rapidement variables d'ailleurs, si l'on en juge par ce qui s'est passé en France ces dernières années.

Nouveaux formateurs

En réalité, il n'y a que des "anciens" formateurs...

Face à ces défis, de quoi disposons-nous pour penser la formation ?

4. MODÈLES POUR PENSER LA FORMATION

4.1. Figures

En France, la difficulté pour penser le métier d'enseignant est bien révélée par les comparaisons multiples et contradictoires auxquelles le sens commun - y compris le sens commun des formateurs, des chercheurs et des administrateurs - fait appel. R. Bourdoncle (1993) a recensé quelques "figures" mises en avant :

- l'"ouvrier", ou l'employé, qui connote l'importance de l'exécution, de la mise en oeuvre d'un programme et de moyens selon des prescriptions qui lui sont imposées ;
- l'"artisan", qui met l'accent sur le service individualisé fourni grâce à des savoirs et savoir-faire techniques et sociaux habituellement acquis "sur le tas" ;
- l'"artiste", qui insiste sur l'authenticité, le "don", dans des actes où la technique transmissible jouerait un rôle secondaire ;
- le "professionnel", qui applique un savoir rationalisé, et dont le type moderne est sans doute le médecin.

On pourrait y ajouter, parce que sa figure est loin d'avoir disparu dans l'imaginaire collectif, le "prêtre", investi d'une mission.

4.2. Modèles

S'agissant de penser la formation elle-même, je distinguerai trois modèles, trois tentatives qui tous contiennent une part de vérité et ont donc une certaine fécondité, mais qui sont trop partiels, trop superficiels, pour permettre de poser au fond le problème de la formation des enseignants du point de vue didactique.

les figures
multiples
auxquelles se
réfère le métier
d'enseignant

• **Modèle "formation"**

C'est sûrement le plus immédiat, fondé sur les distinctions évidentes entre :

trois axes pour
catégoriser les
formations
existantes

formation académique/formation pédagogique,
formation théorique/formation pratique,
formation professionnelle/formation personnelle.

Au fond, il s'agit de caractériser les tendances principales des formations existantes, et tout le monde peut être d'accord sur cette catégorisation ; ce sont les équilibres qui sont en cause, et là, les débats sont sans fin, puisque rien ne permet de sortir des catégories ; seules des recherches empiriques sur l'efficacité marginale et l'acceptabilité peuvent être imaginées.

• **Modèle "compétences"**

La distinction :

compétences scientifiques ou technologiques /
compétences pédagogiques

examiner les
formations à
partir des
compétences
visées

permet un pas de plus en ouvrant la discussion sur les formations à partir des compétences visées et non en fonction des cursus eux-mêmes. Cependant, elle évite la mise en relation entre compétences pédagogiques et compétences scientifiques et technologiques qui doit être la marque de leur intégration professionnelle. Pour les mêmes raisons, une autre question n'a pas de solution rationnelle, et donc seulement réponse économique : jusqu'à quel niveau faut-il développer les compétences scientifiques et technologiques ? et qu'est-ce qu'un "haut niveau" de compétence dans les deux ordres ?

• **Modèle "transposition"**

Issu des travaux de didactique, le concept de transposition, en attirant l'attention sur les transformations du savoir lorsqu'il passe du contexte savant au contexte scolaire, permet de poser le problème de l'articulation entre compétence scientifique ou technologique et compétence pédagogique.

L'étude de la chaîne :

considérer
l'articulation
compétences
scientifiques ou
technologiques/
compétences
pédagogiques

savoir savant → savoir à enseigner → savoir enseigné

complétée par l'étude du savoir approprié nous installe bien dans une problématique de formation professionnelle d'enseignants.

On peut cependant faire à ce modèle, surtout développé à propos des mathématiques, un certain nombre de critiques :

- vision intellectualiste qui oublie le rapport pratique au monde physique, aux substances chimiques, aux êtres vivants, aux dispositifs techniques qui fonde le comportement des physiciens, des chimistes, des biologistes, des

les critiques du
modèle
"transposition"

technologiques : "Je hune" tels sont les premiers mots du chimiste P. Laszlo dans son livre *La parole des choses* ;

- vision acritique vis-à-vis de la pertinence du savoir savant, a priori légitime et légitimant ;
- vision inadéquate enfin des disciplines scolaires qui se construisent pour transmettre des pratiques (écriture, langues, arts) qui ne sont pas forcément des savoirs savants appliqués.

C'est pourquoi il paraît nécessaire de chercher un modèle plus propre à la formulation des problèmes de conception curriculaire et de formation des enseignants.

5. RÉFÉRENCES ET PROFESSIONNALITÉ

Deux ambitions sont à la base du modèle qui va être développé :

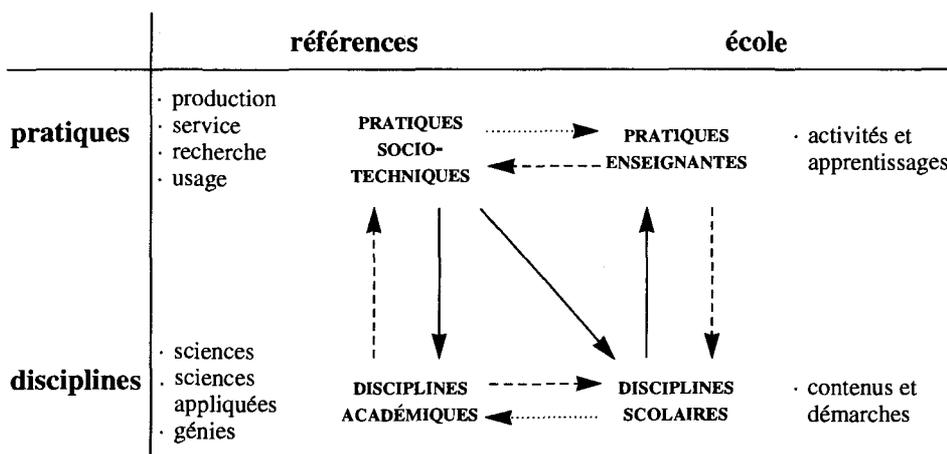
à la base du
modèle proposé :
deux ambitions

- la spécificité, la complexité de l'activité de l'enseignement, sa "professionnalité" doivent pouvoir être prises en compte et analysées de façon plus profonde ;
- le rapport de l'école aux domaines de référence non scolaires, où les acquis scolaires doivent pouvoir prendre sens, doit être élucidé de façon plus radicale.

Ces deux ambitions conduisent à deux distinctions :

- entre pratiques et disciplines,
- entre école et référence.

D'où le schéma suivant, où quatre rubriques apparaissent, qu'il faut examiner pour elles-mêmes d'abord, dans leurs relations ensuite.



À ce stade, quelques brèves remarques seulement s'imposent.

1. Une discipline scolaire n'est jamais une réduction ou une simplification des disciplines académiques, même lorsqu'elles portent le même nom. Les modes de construction des contenus et des démarches sont plus complexes que le modèle de la transposition ne le laisse croire. Il peut y avoir création.

2. Sur ces disciplines, les enseignants sont amenés à développer des pratiques d'enseignement scolaire. Ils gèrent des apprentissages, mais aussi des activités qui ont leur justification en elles-mêmes : investigations, réalisations, projets, qui débouchent sur des acquisitions, mais ne sont pas directement pilotées en vue de ces acquisitions.

3. Les enseignants ont été formés par les disciplines académiques ; c'est par là que passe d'abord les relations de celles-ci aux disciplines scolaires. Autant dire que cette formation entraîne des difficultés (conception de la discipline et compétences en décalage par rapport aux besoins) autant qu'elle peut constituer une culture scientifique ou technologique.

4. Par contre, disciplines scolaires et disciplines académiques "correspondantes" sont les unes comme les autres des voies d'accès aux pratiques sociotechniques qui leur servent de référence. C'est donc au fond par référence à ces pratiques que peut être posé le problème des relations entre disciplines scolaires et disciplines académiques.

C'est ce système de relations d'influence qu'expriment les flèches du schéma :

- > influence forte et fondamentale
- > influence pratique plus ou moins importante
-> influence générale faible.

Pour aller plus loin, il s'agit maintenant d'étudier chacune des quatre rubriques. Dans le cadre de cette présentation, seuls quelques aspects seront développés.

6. LES PRATIQUES DE RÉFÉRENCE

Les contenus et les démarches des disciplines scolaires ou académiques renvoient en général à des pratiques sociales : production, service, recherche, usage... Pour caractériser ces pratiques, il ne suffit pas de prendre en considération les savoirs en jeu : objets et instruments, tâches et problèmes, qualifications et rôles sociaux constituent avec les savoirs, les composantes solidaires d'une pratique. Les savoirs dépendent en général dans leur nature des autres composantes ; les cas où les savoirs peuvent être considérés de façon isolée, presque autosuffisante sont relativement rares si l'on se place d'un point de vue sociologique, historique ou ethnologique. À un moment et dans un contexte

quelques
commentaires sur
les relations
d'influence
visualisées sur le
schéma

les savoirs ne sont
en général
qu'une des
composantes
d'une pratique

donné, cette autonomisation du savoir peut cependant apparaître comme légitime, et justifier ainsi le modèle de "transposition" évoqué précédemment.

Au cœur des pratiques, et donc des pratiques de référence, sont les technicités. À la suite de M. Combarous, on peut dégager trois composantes essentielles de toute technicité qui s'inscrivent dans la dialectique de l'objet et de l'action :

- une pensée, une rationalité propres ; c'est-à-dire des problématiques, des concepts, des normes ;
- des instrumentations spécifiques, matérielles et symboliques ;
- une spécialisation, des individus comme des entreprises, qui est la condition d'efficacité.

Avec ces composantes de la technicité, nous sommes directement au centre des débats éducatifs sur l'intérêt, les finalités, les possibilités de l'éducation scientifique et technologique : une pensée dévalorisée ou même niée, des instruments trop particuliers, des spécialisations inacceptables sont autant d'arguments contre l'enseignement d'une science ou d'une technique ; lorsqu'il s'agit de formation générale il faut s'arrêter au moment où il y a "trop de technicité".

Ces composantes de la technicité nous introduisent aussi au cœur des décisions curriculaires : écarts entre technicité dans la ou les références choisies et les contenus des disciplines scolaires, rapports entre pratiques familières aux apprenants et pratiques de référence, sens des activités et des apprentissages.

Mais la notion de technicité et ses composantes apparaissent aujourd'hui insuffisantes pour penser la construction et l'évolution des disciplines. C'est pourquoi dans la dernière période, à la fois pour la didactique des activités physiques et sportives et pour la didactique des sciences et de la technologie, j'ai proposé la notion de registres de technicité. Quatre registres de technicité ont été distingués :

- registre de la maîtrise : c'est le seul pris habituellement en compte, dans les pédagogies de la maîtrise ; mais il n'est pas évident qu'il soit toujours le plus pertinent lorsqu'on s'intéresse à des formations générales et non professionnelles ;
- registre de la participation : il apparaît lorsqu'il y a capacité à tenir un rôle, mais sans maîtrise, donc avec aide et contrôle, dans une pratique ;
- registre de l'interprétation : c'est celui qui fonctionne lorsque sans être forcément capable de faire soi-même, on a la capacité de "lire" et d'analyser, d'expliquer une pratique ;
- registre de la modification : c'est celui qui permet de changer une pratique, et vraisemblablement suppose que la maîtrise ne soit pas trop importante et consolidée.

de l'importance
de la technicité
et de ses
composantes...

... à la notion de
registres de
technicité

des rapports
entre culture et
technicité

Il s'agit bien de registres, et non de niveaux, car il n'y a pas hiérarchie sur une dimension.

Pour terminer ces brèves remarques sur les références et les technicités, il faudrait aborder la question de la culture. Dans la perspective qui a été adoptée, la culture, qu'elle soit professionnelle ou "générale", touche aux rapports avec les pratiques de référence. Plus précisément, la culture apparaît comme une technicité partagée. Au delà des consensus "mous" ou des conflits d'implicites, une telle définition permet de poser de manière à la fois théorique et pratique, la question des choix pour une formation de "culture". Elle peut se généraliser d'ailleurs bien au delà du domaine scientifique et technique.

7. LES DISCIPLINES SCOLAIRES

Dans le livre tiré de son travail d'habilitation, M. Develay (1992) propose un schéma de définition des disciplines scolaires, un modèle des "matrices" de discipline. C'est sans doute un modèle synthétique d'orientation "constructiviste", articulant au mieux des points de vue divers, voire contradictoires. Il s'appuie d'abord sur le concept de transposition, complété par la prise en compte des valeurs, et une pédagogie de la "situation-problème". Le schéma souffre d'un certain intellectualisme : la prise en compte de la notion de pratique de référence devrait avoir des conséquences plus radicales qu'un ajout de quelques considérations sur la contextualisation du savoir. C'est avant tout, semble-t-il, un schéma topique pour situer diverses propositions issues de recherches didactiques.

Ici, l'ambition est différente : attirer l'attention sur quelques questions vives pour penser la formation, en cohérence avec le modèle "référence/professionnalité", et spécifiques des sciences et de la technologie.

Quatre questions seront abordées à la suite.

7.1. Familiarisation pratique et élaboration intellectuelle

C'est une spécificité forte des sciences et de la technologie que d'exiger que la discipline scolaire soit définie sur deux plans :

deux plans très
différents pour
définir la
discipline scolaire

- celui de la familiarisation pratique avec des objets, des phénomènes, des procédés, des tâches, des rôles ; familiarisation à laquelle l'école ne saurait se dérober sans développer l'inégalité et rendre incertaine la référence empirique des savoirs ;
- celui de l'élaboration intellectuelle, construction de concepts, ajustement de modèles, appropriation de théories.

Or, les activités ne sont pas les mêmes et il n'y a pas de correspondance immédiate entre ces deux plans.

7.2. Sens des contenus et des démarches : compétences à acquérir ou expérience à vivre ?

La justification habituelle pour une éducation scientifique et technologique dans l'enseignement général, s'appuie sur l'argument de l'intérêt de la démarche, voire de l'esprit scientifique, en dehors de toute acquisition de connaissance ou de savoir-faire. Parallèlement, les exigences de l'évaluation et du contrôle, la technique des objectifs conduisent à valoriser des compétences évaluables. Il est urgent de prendre conscience de la contradiction explosive entre ces deux points de vues lorsqu'ils sont appliqués sans précautions aux premiers niveaux de l'initiation scientifique et technologique.

contradiction
entre l'intérêt de
la démarche et
les exigences de
l'évaluation

7.3. Fonctions et horizons des apprentissages

À la fin des enseignements secondaires, se posent des problèmes de choix, et donc de distinction tout aussi graves. Il y a un siècle, aux débuts de la "scientification de l'économie et de la société", une sorte d'allégresse scientifique présidait à la définition des contenus : tout était bon à savoir. Aujourd'hui, tout le monde est conscient que ce n'est plus possible ni pertinent. Chacun dénonce l'"encyclopédisme", au risque d'ailleurs d'enlever à l'école une de ses justifications : attirer l'attention sur la richesse du monde environnant et structurer les cadres intellectuels qui permettent de la maîtriser.

Il y a en fait deux problèmes.

Le premier, celui de la recherche d'un encyclopédisme raisonnable, conduit à distinguer les fonctions des disciplines scolaires de la fin du secondaire :

- discipline de "cœur", axe d'une filière de formation, qui apporte la contribution essentielle à la culture de l'élève,
- discipline de "service", réponse aux besoins des disciplines de "cœur",
- discipline d'ouverture, préparation à l'accueil du nouveau qui trouve son origine dans le développement des recherches et des innovations.

Ces distinctions ont des rapports étroits avec les registres de la technicité.

Le second problème, celui de la gradation des contenus et des démarches au cours des études, entraîne à clarifier les rapports entre commencements, bases et fondements. Il y a trop de confusion entre bases et commencements. Les bases, c'est ce qui doit faire l'objet à chaque niveau d'une reconstruction pour restructurer l'ensemble du savoir : comment penser que des bases pourraient être atteintes

recherche d'un
encyclopédisme
raisonnable

gradation des
contenus et des
démarches

d'emblée ? Les fondements ne sont que les dernières bases, d'ailleurs provisoires.

7.4. Références et disciplines

La tendance permanente des disciplines scolaires est de s'enfermer progressivement dans l'autoréférence, dans une boucle contenus - pratiques d'enseignement - évaluation des apprentissages - contenus. La question de la référence, le recours explicite à des pratiques de références externes, est donc une question critique, radicale. Mais tout n'est pas donné dans les références ; dans l'action sociale de construction des disciplines, il y a aussi la volonté de transformer des pratiques de références par les apprentissages. C'est donc l'interaction référence-discipline scolaire qui doit être explicitée. Ici encore technicité et registres de technicité sont sans doute les outils pertinents pour objectiver ces relations.

interaction
référence/
discipline scolaire
à expliciter

8. LES DISCIPLINES ACADÉMIQUES

Les disciplines académiques pourraient faire l'objet d'un questionnement systématique par l'idée de référence. Ici, il ne s'agit que du questionnement qui s'applique aux disciplines académiques en tant que moyen utilisé dans la formation des enseignants. Quatre questions émergent.

- Quels apports ces disciplines fournissent-elles dans l'approche des différentes références : recherches, production, usage, etc. ? Dans quels registres de technicité ces disciplines font-elles progresser ?
- Quelle communauté y a-t-il entre les contenus et les démarches des disciplines académiques et ceux des disciplines scolaires ? Lefèvre et al. (1994) ont montré qu'il n'y a aucun rapport entre l'optique enseignée à l'université, l'optique enseignée à l'école et les connaissances utiles à la photographie.
- Quels éléments de technicité réellement utilisables dans la pratique enseignante sont-ils mis à disposition (manières de penser, instruments de laboratoire, etc.) ?
- Quelle contribution ces disciplines académiques fournissent-elles au développement personnel du futur enseignant, compte tenu du niveau atteint ?

Ces questions sont sans doute rudes, mais salutaires, lorsqu'il s'agit de négocier les formations des enseignants.

questionner les
disciplines
académiques au
moyen de l'idée
de référence

9. LES PRATIQUES ENSEIGNANTES

Il reste à dire quelques mots à propos des pratiques enseignantes, en revenant ainsi à notre thème initial.

Ce qui rend au fond difficile l' "injection" des acquis de la recherche didactique dans la formation des maîtres, c'est que la recherche a trop tendance à se placer en fondatrice de l'enseignement et de la formation, oubliant qu'elle n'est qu'un des processus sociaux qui interviennent sur le même champ. C'est pourquoi l'idée directrice de tout ce texte, c'est de penser la formation comme un problème, non comme une application. Bien sûr, la posture de recherche est justement celle qui permet au mieux de penser son objet comme problématique. À ce titre, toutes les propositions sont fondamentalement issues de la recherche didactique : elles résultent d'un point de vue didactique sur la formation et l'éducation.

Mais dans la pratique de la formation, comme dans sa conception, la place, le rôle de la pratique enseignante sont essentiels. C'est plus à la recherche d'en tenir compte, que l'inverse, non seulement en approfondissant l'étude des pratiques enseignantes, mais en situant de façon plus explicite dans la formation le rapport à la pratique enseignante à côté du rapport à la recherche didactique et pédagogique.

En réalité, tout est "didactique" au sens où le point de vue des contenus de la discipline scolaire est directeur. Mais trois orientations didactiques coexistent :

- l'orientation didactique "praticienne", incarnée par les maîtres de stages et les maîtres formateurs, centrée sur les compétences (et les coutumes) de la pratique enseignante ;
- l'orientation didactique "normative", incarnée par les inspecteurs là où ils existent, centrée sur les contenus et les démarches du curriculum prescrit ;
- l'orientation critique et prospective, incarnée par les chercheurs et les innovateurs, qui est bien incapable de permettre le fonctionnement de l'enseignement, mais qui assure le rôle irremplaçable de rendre son dynamisme au système et à ses agents.

Comment articuler ces trois orientations concrètement dans les formations, et chez les formateurs eux-mêmes alors qu'il n'y a jamais de rôle exclusif ? Tel semble bien être un problème majeur et permanent de la formation des enseignants.

Jean-Louis MARTINAND
LIREST
École Normale Supérieure de Cachan

penser la formation comme un problème

trois orientations didactiques...

... à articuler

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BLACK, P. J., LUCAS, A.M. (eds) (1993). *Children's informal ideas in science*. London, Routledge.
- BOURDONCLE, R. (1993). "La professionnalisation des enseignants : les limites du mythe". *Revue Française de Pédagogie*, 105, 83-119.
- COLOMB, J. (éd) (1992). *Recherches didactiques : contribution à la formation des maîtres*. Actes du colloque de Paris, février 1992, Paris, INRP.
- COMBARNOUS, M. (1984). *Les techniques et la technicité*. Paris, Éditions sociales.
- DEVELAY, M. (1992). *De l'apprentissage à l'enseignement*. Paris, ESF Éditeur.
- DEVELAY, M. (1994). *Peut-on former des enseignants ?* Paris, ESF Éditeur.
- FABRE, M. (1994). *Penser la formation*. Paris, PUF.
- GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C., MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona, ICE-HORJORI.
- GOFFARD, M. (1994). *Le problème de physique et sa pédagogie*. Paris, ADAPT.
- JOHSUA, S., DUPIN, J.J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.
- LASZLO, P. (1994). *La parole des choses*. Paris, Herman.
- LEFÈVRE, R., ESCAULT, A., BOULDOIRES, B. (1994). "Conceptions d'étudiants et choix des contenus d'enseignement". *Les sciences de l'éducation*, 1, 69-91.
- LEMEIGNAN, G., WEIL-BARAIS, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris, Hachette.
- MARTINAND, J. L. (1994). "Didactique des sciences et formation des enseignants, notes d'actualité". *Les sciences de l'éducation* 1, 16-24.
- MARTINAND, J. L. et al. (Équipe INRP-LIREST) (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, INRP.
- MARTINAND, J. L. et al. (Équipe INRP-LIREST) (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*, Paris, INRP, 133 p.
- NACHTIGALL, D. K. (Ed.) (1993). *Proceedings-International Conference in Physics Teachers's Education*, Dortmund, september 1992. Dortmund, Pruck-Servia.

PERRIAULT, J. (1989). *La logique de l'usage. Essai sur les machines à communiquer*. Paris, Flammarion.

ROBARDET, G., GUILLAUD, J.C. (1993). *Éléments d'épistémologie et de didactique des sciences physiques*. Grenoble, Publications de l'IUFM.

VERGNAUD, G. (Coord.) (1994). *Apprentissages didactiques, où en est-on ?* Paris, Hachette.

**** (1990). *Les objectifs de la formation scientifique*. Actes du colloque de Palaiseau, avril 1990. Paris, Société Française de Physique.

**** (1991). *La place de la recherche dans la formation des enseignants : stratégies françaises et expériences étrangères*. Actes de colloque. Paris, INRP.

**** (1991). *Les tendances nouvelles dans la formation des enseignants : stratégies françaises et expériences étrangères*. Actes du colloque. Paris, INRP.

LA CONSTRUCTION DU CURRICULUM ET LA FORMATION DES ENSEIGNANTS COMME TERRAIN DE RECHERCHE EN DIDACTIQUE DES SCIENCES EXPÉRIMENTALES, SOCIALES ET MATHÉMATIQUES

Roque Jiménez
Ana Maria Wamba
Jesús Estepa
José Carrillo
Luis Carlos Contreras

Ce travail part de l'idée que les sciences (expérimentales, sociales, mathématiques,...) peuvent trouver dans la didactique un langage commun issu du domaine des sciences sociales. Il s'agit d'un apport théorique et pratique, dans le domaine de la recherche en didactique des sciences, fondé sur la construction de planifications curriculaires de contenus conceptuels et sur les recherches concernant les conceptions des enseignants sur la discipline et son enseignement dans un contexte de formation.

1. LES SCIENCES DE L'ÉDUCATION ET LES SCIENCES SOCIALES : DIDACTIQUE DES SCIENCES

les didactiques
incluses dans le
champ des
sciences sociales

Sans prétendre faire une analyse historique du processus de réflexion, d'élaboration et, souvent, de redéfinition épistémologique de chacune des didactiques spécifiques, objet de notre étude (cf Porlán, 1992 ; Diaz 1991 et Martin 1988), on peut affirmer que toutes, en tant que didactiques, sont incluses dans le champ des sciences de l'éducation, pleinement intégrées, à leur tour, dans celui des sciences sociales, vaste domaine de savoirs, qui possède encore un certain degré de non définition épistémologique.

Ainsi s'établit une première convergence, qui permet aux sciences expérimentales ou mathématiques (1), tout en maintenant leur identité, d'acquérir une dimension sociale approfondie dès lors qu'elles prennent un tour éducatif. En ce sens, nous pensons que la didactique des sciences, s'intéressant aux processus d'enseignement-apprentissage avec un contenu indubitablement social, déborde le statut

(1) Pour certains auteurs, tels que Guzman (1985), les mathématiques sont aussi considérées comme des sciences expérimentales.

épistémologique accordé aux sciences, et se rapproche de celui des sciences humaines, sciences de l'esprit, sciences ou études sociales.

Nous considérons ainsi que la dénomination "didactique des sciences" manque de précision, si on ne la rapporte qu'aux sciences à caractère expérimental, au lieu de l'intégrer à une théorie de la connaissance, avec une épistémologie qui ne la confine pas au modèle des sciences expérimentales (Porlán, 1993).

sciences de la
nature,
mathématiques,
sciences
sociales...

La construction de deux corps de connaissances différents : celui des sciences de la nature et des mathématiques d'une part, celui des sciences sociales d'autre part, a été de grande importance dans l'histoire des sciences. Ainsi, Fontana (1992) signale que lorsque nous consultons une histoire des sciences *"en sont presque toujours exclues les sciences sociales ou de la culture, qui apparemment, ne méritent pas une place à côté de la physique ou de la médecine"* (p.101). Cependant nous estimons, avec le projet IRES et notre expérience professionnelle, qu'il existe un langage, un tronc commun de connaissances (Contreras et Estepa, 1992), qui nous rassemble et nous identifie, au delà des spécificités de chacune des sciences auxquelles réfèrent nos didactiques, à condition d'admettre que la structure de ces disciplines n'est pas la seule référence pour résoudre les problèmes relatifs à l'enseignement.

...ont un tronc
commun
didactique

La spécificité épistémologique de chacune des didactiques est néanmoins incontestable et se manifeste par des travaux tels que ceux de Stodolski (1991), qui montrent que les maîtres organisent de manières très diverses leurs activités pédagogiques selon ce que chacun enseigne (dans le cas de cette recherche, les sciences sociales ou les mathématiques). Maestro (1991) signale de son côté, suivant Hodson, qu'il n'y a pas d'activité scientifique, ni d'activité d'apprentissage indépendante du contenu spécifique de chaque science, de telle sorte que la méthodologie d'un cours doit être en accord avec ses contenus et qu'il est impossible de trouver des formules valables pour toutes les sciences. Dans cette perspective, les expérimentations interdisciplinaires présentées ici, ne prétendent en aucun cas nier les différences épistémologiques entre domaines comme les mathématiques, la biologie, l'histoire, etc. Elles notent seulement des convergences dès que ces disciplines sont considérées en tant qu'objet d'enseignement.

sans négliger
les spécificités
épistémologiques

Cet article part de ces présupposés et cherche, tant théoriquement que pratiquement, à dépasser les réductionnismes pour contribuer à la construction d'une épistémologie nouvelle et transdisciplinaire, qui conçoive la connaissance comme un processus évolutif, complexe, critique et social.

2. L'ÉLABORATION DES PLANIFICATIONS CURRICULAIRES COMME VOIE POUR LA CONSTRUCTION DE SAVOIR INTERDISCIPLINAIRE

nécessité
d'acquérir une
vision globale
de la science

Bien que la tendance à la spécialisation soit de plus en plus évidente, elle ne doit pas être un obstacle pour que chacun acquiert une vision claire et globale de la science et la culture qui lui permettent de mieux juger toutes sortes de processus et d'assumer consciemment des choix culturels, axiologiques et politiques dans la société à laquelle il appartient. La recherche d'aspects conceptuels et méthodologiques communs, en interrelation dans les différents domaines de connaissances apparaît dans ce contexte comme une nécessité.

formation initiale
universitaire
disciplinaire

Or, la formation initiale à l'université reste de caractère disciplinaire. Les enseignants, les formateurs de maîtres de l'enseignement élémentaire et secondaire des différentes disciplines n'ont été formés ni en didactique des mathématiques, ni en didactique des sciences expérimentales ni en didactique des sciences sociales, qui sont de constitution récente.

Ces deux caractéristiques contribuent à ce que le travail professionnel interdisciplinaire ne soit pas tâche facile et que, par conséquent, l'éventuelle intégration des connaissances reste encore une tâche habituellement abandonnée aux élèves eux-mêmes.

trouver des
contextes pratiques
favorables à
l'interdisciplinarité

Cependant, la nécessité d'un cadre commun aux champs cités nous invite à trouver des contextes pratiques où cette intégration se substituera à une juxtaposition, tout en facilitant un changement métacognitif des professeurs impliqués, au double plan d'une connaissance de leurs propres connaissances et d'une prise de conscience de leurs propres conceptions. Nous présentons ci-dessous deux exemples de la manière dont peuvent s'organiser les planifications curriculaires, dans un tel contexte.

élaboration
d'une trame
conceptuelle
sur le sol

Le premier exemple, à profil théorique, concerne l'élaboration de la trame conceptuelle de base d'une connaissance scolaire souhaitable, concernant le domaine du **sol**, (Wamba et al., 1992), à partir de discussions entre les professeurs des trois domaines cités (mathématiques, sciences expérimentales, sciences sociales). À cette occasion, à l'aide d'un outil permettant d'élucider nos conceptions sur les éléments de la trame et sur leurs relations, nous avons eu l'opportunité de changer de cadre, en évoluant vers une vision plus interdisciplinaire des "éléments" qui structurent le concept de sol.

Il s'agissait de définir un savoir scolaire souhaitable, à partir de la connaissance quotidienne de certains enseignants et du savoir scientifique des autres. Au cours de l'élaboration de la trame, ont émergé des conceptions que les uns et les autres s'étaient construites à partir de leurs disciplines de

| | |
|---|---|
| confrontation interdisciplinaire élargissant les horizons de chaque spécialité | référence et grâce aux apports de l'usage de la trame elle-même. Il nous apparaît en effet que cette perspective systémique des composantes du milieu, a été possible grâce à l'interaction entre les différentes informations et que, la trame conceptuelle - en construction - a agi au niveau d'une stratégie de référence organisant la pensée du professeur (Wamba et al., 1992). Cela a permis, d'une part, de rendre manifeste le curriculum caché des professeurs par l'explication interdisciplinaire de leurs conceptions contrastées, élargissant du même coup les horizons de leurs spécialités respectives et, d'autre part, de révéler l'échafaudage de la perspective curriculaire de chacun, sans oublier les effets de formation professionnelle de ce travail collectif, concernant les conceptions des enseignants comme des élèves. |
| notions d'espace et de temps | Le deuxième exemple, issu d'une expérience renouvelée du dernier cours de formation des enseignants de l'école élémentaire, implique un travail interdisciplinaire avec les notions d' espace et de temps , deux des concepts les plus structurants de l'étude de la connaissance du milieu. |
| pour leur conceptualisation : le vécu, le perçu, le conçu | Selon la conception développée par Hannoun (1977), l'évolution de la conceptualisation de ces notions s'opère selon trois niveaux : le vécu, le perçu et le conçu. L'évolution de ces niveaux fait intervenir différentes disciplines, d'une manière progressive et conjointe. Le premier niveau serait fondamentalement orienté par la psychologie éducative, les deuxième et troisième niveaux (espace géographique, temps historique, espaces mathématiques et chronologie), concernant plutôt respectivement la didactique des sciences sociales et celle des mathématiques. |
| prise en compte de l'espace physique, topologique, métrique | Dans une approche intégrée de l'espace, l'élève-enseignant en formation a l'occasion de relier l'évolution de la conceptualisation et de la représentation de l'espace (de la topologie à la géométrie projective) (Contreras, 1987) avec l'étude de l'espace telle qu'elle apparaît en sciences sociales : cartes, maquettes, plans, jeux d'échelles, photographies aériennes (géographie), différentes techniques pictographiques de l'espace (art). Une prise en compte de l'espace, physique, topologique ou métrique, pour aider à "penser l'espace" du point de vue géographique (localisation, relations, distribution), mathématique (mesure, échelles) et physique (rapport espace-temps, relation entre espace macroscopique et espace microscopique) élargit ainsi l'horizon disciplinaire proposé par Hannoun. |
| construction mentale du temps | En ce qui concerne le temps, nous présentons au maître en formation la nécessité de considérer le temps comme une construction mentale, dans laquelle interviennent les données des sciences expérimentales - à travers l'astronomie - d'où l'établissement d'un calendrier relié aux phases des astres. |
| | Nous faisons également envisager le lien naturel du temps à la mesure (Whitrow, 1990) pour mieux conceptualiser temps géologique et temps historique, lesquels ont besoin d'une |

la mesure du
temps

métrique pour situer les faits sociaux et naturels dans un système cohérent de coordonnées. Ce qui suppose à nouveau un élargissement de l'horizon de Hannoun. Ces difficultés importantes que pose aux élèves la mesure du temps sont insuffisamment travaillées dans le contexte scolaire et nécessitent une convergence entre les didactiques des mathématiques, des sciences sociales et des sciences expérimentales.

Que nous apportent de telles expériences, conduites dans la perspective d'une théorie de la connaissance ? Sans souci d'exhaustivité, nous retiendrons les trois points suivants.

trois apports
essentiels de la
réflexion
interdisciplinaire

- La construction de la connaissance (scolaire, scientifique ou professionnelle) s'effectue par étapes progressives. Le travail collectif interdisciplinaire des professeurs, critique et réflexif, s'enrichit de la diversité de leurs angles de vue.
- La construction du savoir exige une explication (à certains moments du processus) des conceptions des professeurs, ce qui est arrivé lors de l'élaboration de la trame et de la réflexion sur la conceptualisation des notions d'espace et de temps.
- L'analyse réflexive, systématique et coopérative sur l'acte d'enseigner (réduite au "quoi enseigner", dans le cas présent) permet une approche plus rationnelle de la pratique elle-même (Contreras, 1994).

3. LES CONCEPTIONS SUR LA DISCIPLINE ET SUR SON ENSEIGNEMENT COMME SUJETS DE RECHERCHE DANS LA FORMATION DES ENSEIGNANTS

une recherche
du groupe
DESYM

Les expériences décrites ci-dessus nous ont conduits à analyser les domaines où la coopération est importante sur le terrain de la recherche en éducation. Ainsi, l'étude des conceptions des professeurs sur leur discipline et sur leur enseignement constitue le cadre interdisciplinaire actuel et une des lignes de recherche du groupe de didactique des sciences expérimentales et mathématiques (DESYM).

En ce sens, quand Fennema et Franke (1992) affirment que *"le savoir du professeur ne doit plus être considéré comme un constructeur isolé par rapport aux effets sur la conduite des professeurs dans la classe et sur l'apprentissage de l'étudiant"*, ils citent les croyances du professeur comme l'un des aspects qui doit être inclus dans son savoir (2).

-
- (2) Fennema, E. et Franke, M.L. (1992) proposent un modèle pour la recherche concernant la connaissance du professeur, ce modèle se compose de : connaissance du contenu mathématique (que nous appellerions connaissance du contenu spécifique), connaissance de la pédagogie, connaissance des aspects cognitifs des élèves et des croyances du professeur.

croissance,
conception,
représentation,
théorie implicite,
construct ?

Les termes "croyances" et "conceptions", ainsi que d'autres comme "représentations", ou "théorie implicite", "construct", etc., ont été utilisés indistinctement à plusieurs reprises. À ce propos, Bodin (1992), bien qu'il essaie de les distinguer, conclut : *"j'ai dû me rendre à l'évidence : de nombreuses manières de se référer au même objet ont été développées et, en conséquence, les champs sémantiques sont exactement superposés"*. Néanmoins, chacun possède une nuance qui le différencie des autres. Par exemple, le terme "représentation" est associé à celui d'image mentale en faisant allusion à un ensemble, organisé de façon cohérente d'idées et d'images, correspondant à une structure mentale sous-jacente. De leur côté "conception" ou "construct" renforcent l'idée qu'il s'agit de *"l'élément moteur dans la construction d'un savoir, permettant aussi les transformations nécessaires"* (Giordan et De Vecchi, 1987). Par ailleurs, le terme "théorie implicite" met en relief le caractère inconscient et peut s'identifier à celui de "conception" (Clark, 1988).

Pour Thompson (1992), les conceptions incluent les croyances, les préférences et les goûts. Elles contiennent des significations, des concepts, des propositions et des images mentales et sont soumises à des règles, ce qui tend à considérer les conceptions, dans un sens assez large comme une discipline.

conceptions et
efficacité de la
formation

En définitive, nous identifierons les conceptions avec les croyances ou avec un système de croyances, renforçant leur dimension structurelle et dynamique. Ces conceptions fonctionnent comme filtre et comme système de décodage des informations provenant d'autres domaines de recherches. Comme le constatent ceux qui participent à des projets de formation continue, elles constituent l'une des variables à considérer pour expliquer la faible efficacité de la formation ainsi que la disparité des résultats concernant l'utilisation de certaines stratégies méthodologiques dans les classes.

explicitement les
conceptions pour
les faire évoluer

Les propos de Nespor (1987) sont très éclairants à ce sujet : *"Pour comprendre l'enseignement du point de vue des professeurs, nous devons comprendre les croyances à partir desquelles ils définissent leur travail"* (p. 323). Mais le degré d'importance accordé à ces conceptions ou croyances est tel qu'il ne suffit pas de les évoquer. Leur explicitation est le point de départ de leur éventuel changement et c'est là que nous mesurons leur importance, le changement pouvant révéler des positionnements épistémologiques complètement différents. L'objectif n'est pas de caractériser divers modèles d'enseignement, mais bien des "enseignements" différents, renforçant en conséquence l'idée que les objectifs poursuivis dépendent en grande mesure du modèle d'enseignement choisi. C'est précisément dans ce domaine que la didactique des sciences acquiert un caractère clairement interdisciplinaire. Le travail des conceptions des maîtres conduisant à une continuelle amélioration de la qualité de l'enseignement et à la recherche des facteurs qui auront une influence positive dans leur formation, il est évident qu'elles constituent

un centre d'intérêt important. Ces conceptions concernant à la fois les disciplines et leurs enseignements (3), cette compréhension enrichit toutes les disciplines, sans faire perdre à aucune sa spécificité.

Les catégories sur la conception de l'enseignement de la discipline telles que la méthodologie, la conception de l'apprentissage, le rôle de l'élève, le rôle du professeur et de l'évaluation (Carrillo et Contreras, 1994) se recoupent par leurs indicateurs ou descripteurs. Les disciplines peuvent alors être conçues à partir d'une convergence qui met en évidence le parallélisme de leurs processus historiques, contrairement à l'habituel renfermement disciplinaire (4).

Une collaboration est donc non seulement réalisable mais bien nécessaire, pour élaborer des instruments qui rendent possible une analyse minutieuse des conceptions des enseignants par rapport à ces disciplines (5). Cette collaboration permettra d'accroître le niveau de rigueur des études sur le sujet et d'améliorer l'opérationnalité des débats avec les professeurs, avec pour but de rapprocher les analyses issues de la recherche (point de départ incontournable de tout projet de formation qui vise au changement conceptuel dans l'activité du professeur). Finalement, la tâche des chercheurs ne doit pas se limiter à l'analyse des données mais, dans la perspective du projet IRES, ceux-ci doivent aboutir à des éléments qui favorisent le changement conceptuel, le plus souvent avec un support interdisciplinaire.

collaboration
interdisciplinaire
pour une plus
grande efficacité

Roque JIMÉNEZ
Ana María WAMBA
Didactique des sciences expérimentales
Jesús ESTEPA
Didactique des sciences sociales
José CARRILLO
Luis Carlos CONTRERAS
Didactique des mathématiques
Département de Didactique des Sciences,
Université de Huelva, Espagne

-
- (3) Ruiz (1993) propose d'autres catégories de conceptions d'après leur nature et non d'après leur topique, telles que nous les avons considérées.
- (4) Carrillo et Contreras (1994) proposent une division de la conception des mathématiques en trois catégories (type de connaissance, objectif recherche, mode d'évolution) qui, malgré les différences dans les indicateurs, pourraient être au départ communes à d'autres disciplines.
- (5) Carrillo et Contreras (1994) proposent un instrument pour l'analyse des conceptions de l'enseignement des mathématiques et un autre pour l'analyse des contenus mathématiques. Ces instruments définissent les catégories citées, dans le sens que Evans (1991) fait en sciences sociales, et possèdent des indicateurs qui décrivent des caractéristiques d'une catégorie selon la tendance didactique correspondante.

La traduction a été assurée par Cristina Carballo avec la collaboration de Jean-Pierre Astolfi et Mirtha Bazar.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BODIN, A. (1992). "Réflexions sur les représentations, les conceptions et les compétences". *Petit X*, 30, 17-40.
- CARRILLO, J., CONTRERAS, L.C. (1993). "La identificación de las concepciones del profesor sobre la matemática y la educación matemática como claves para el diseño de estrategias de formación del profesorado". *Actas de las VI Jornadas Andaluzas de Educación Matemática (Thales)*. Sevilla.
- CARRILLO, J., CONTRERAS, L.C. (1994). "The relationship between the teacher's conceptions of mathematics and of mathematics teaching. A model using categories and descriptors for their analysis". *XVIII th PME Conference*. Lisboa.
- CLARK, C.M. (1988). "Asking the Right Questions About Teacher Preparation : Contributions of Research on Teacher Thinking". *Educational Researcher*, 17 (2), 5-12.
- CONTRERAS, L.C. (1987). "La estructuración del espacio en el niño". *Thales*, 6, 89-93.
- CONTRERAS, J. (1994). "¿ Qué es la investigación en la acción ? *Cuadernos de Pedagogía* 224 , 8-12.
- CONTRERAS, L.C., ESTEPA, J. (1992). "Aportación interdisciplinar para la delimitación de un cuerpo de conocimiento común de la Didácticas Especiales a través de los mapas conceptuales". *Actas del Congreso Internacional sobre las Didácticas Específicas en la Formación del Profesorado*. Santiago de Compostela.
- DÍAZ, J. (1991). *Área de Conocimiento Didáctica de la Matemática*. Madrid : Síntesis.
- EVANS, R.W. (1991). "Concepciones del maestro sobre la Historia". *Boletín de Didáctica de las Ciencias Sociales*, nº3-4, 61-94.
- FENNEMA, E., FRANKE M.L. (1992). "Teacher's knowledge and its impact". In Grouws, D.A. (Ed.) *Handbook on Mathematics Teaching and Learning*. New York : McMillan.
- FONTANA, J. (1992). *La Historia después del fin de la historia*. Barcelona : Crítica.
- GIORDAN, A. et DE VECCHI, G. (1987). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.

- GUZMÁN, M. DE (1985). "Enfoque heurístico de la enseñanza de la matemática. Aspectos didácticos de matemáticas-I, Bachillerato". *Aula Abierta*, 57. ICE de la Universidad de Zaragoza, 31-46.
- HANNOUN, H. (1977). *El niño conquista el medio*. Buenos Aires : Kapelusz.
- MAESTRO, P. (1991). "Una nueva concepción del aprendizaje de la Historia". *Studia Paedagogica*. Universidad de Salamanca, 23, 55-81.
- MARTÍN, F. (1988). "Didáctica de las Ciencias sociales". *Investigación en la Escuela*, 4, 25-31.
- NESPOR, J. (1987). "The role of beliefs in the practice of teaching". *Journal of Curriculum Studies*, 19, 317-328.
- PORLÁN, R. (1992). "La Didáctica de las Ciencias : una disciplina emergente". *Cuadernos de Pedagogía*, 210, 68-71.
- PORLÁN, R. (1993). *Constructivismo y Escuela*. Sevilla : Diada.
- RUIZ, L. (1993). *Concepciones de los alumnos de Secundaria sobre la noción de función : análisis epistemológico y didáctico*. Tesis doctoral no publicada. Dep. de Didáctica de la Matemática. Granada.
- STODOLSKY (1991). *La importancia del contenido en la enseñanza*. Madrid : MEC-Paidós.
- THOMPSON, A.G. (1992). "Teacher's Beliefs and Conceptions : a Synthesis of the Research". In Grouws, D.A. (Ed.) *Handbook on Mathematics Teaching and Learning*. New York : McMillan.
- WAMBA, A. et al. (1992). "El suelo como ámbito de investigación escolar", en GRUPO INVESTIGACIÓN EN LA ESCUELA, *Diseño Curricular Investigando Nuestro Mundo*. Sevilla : Diada.
- WHITROW, G.J. (1990). *El tiempo en la Historia*. Barcelona : Crítica.

LA "RÉSOLUTION DE PROBLÈMES COMME RECHERCHE" : UNE CONTRIBUTION AU PARADIGME CONSTRUCTIVISTE DE L'APPRENTISSAGE DES SCIENCES

**Carlos José Furió Mas
Jacinto Iturbe Barrenetxea
José Vicente Reyes Martín**

La proposition que nous présentons dans cet article est une contribution pour orienter l'enseignement vers des modèles de résolution de problèmes qui soient en cohérence avec la créativité du travail scientifique. Il s'agit de faire résoudre des problèmes ouverts intéressants pour l'élève et favorisant la pensée productive, non seulement dans les processus de résolution des problèmes mais en les insérant dans des processus d'apprentissage constructiviste des sciences.

Ce travail s'appuie sur les études et les résultats obtenus dans l'application du "Modèle de Résolution de Problèmes comme Recherche" et dans la conception et la réalisation de travaux pratiques, principalement en physique et chimie. Nous faisons une proposition didactique qui consiste à considérer ces activités de l'enseignement des sciences, initialement isolées, comme des composantes d'un même processus d'enseignement s'appuyant sur le traitement de situations problématiques ouvertes avec une orientation similaire à celle qui constitue réellement un travail de recherche.

INTRODUCTION

La recherche sur la résolution de problèmes est une activité permanente dans le champ de la psychologie (Anderson, 1990) et, au cours des dernières décennies, dans le domaine spécifique de la didactique des sciences, elle a occupé un nombre important de chercheurs (Garret, 1987 ; Mohapatra, 1987). Actuellement les programmes de recherche dans la résolution heuristique de problèmes peuvent relever de deux courants principaux.

a) Les différentes recherches à référence psychologique (traitement de l'information), préoccupées par l'étude de la façon dont les étudiants apprennent à résoudre des problèmes courants fermés habituels dans l'enseignement de la physique et de la chimie. L'objectif de ces recherches est d'établir le modèle empirique des procédures utilisées par les experts dans la résolution de problèmes, en notant les différences avec les procédures utilisées par les novices. Une fois

recherche sur la
résolution de
problèmes :
deux courants

courant
psychologique

identifiées, ces procédures seront transmises aux étudiants à travers le processus d'enseignement-apprentissage.

La connaissance des procédures utilisées par les experts et par les novices, ainsi que celle du fonctionnement de la mémoire à long et court terme et de la mémoire sensorielle, ont une valeur intrinsèque évidente. Cependant, les modèles de résolution élaborés à partir de ces recherches présentent des limites claires : ils ne sont pas adaptés à la résolution des problèmes ouverts (Selvaratnam, 1990) ; les stratégies didactiques implicites qu'ils défendent se situent dans le paradigme d'enseignement-apprentissage par transmission verbale et leur objectif est de reproduire correctement les procédures de résolution, ce qui ne favorise pas le développement de la créativité ni l'exercice de la pensée divergente.

b) Les programmes de recherche basés sur l'histoire, la philosophie et l'épistémologie des sciences s'intéressent à la façon dont les professeurs enseignent, dans le but de détecter d'une manière critique les défauts de base des procédures qu'ils utilisent pour enseigner la résolution de problèmes ; ils proposent des procédures alternatives en accord avec les processus de construction scientifique. Les caractéristiques de base de ces recherches sont les suivantes.

courant basé sur
l'histoire, la
philosophie et
l'épistémologie
des sciences...

- Elles prennent comme caractéristiques de résolution les traits propres aux contenus et aux procédures que la science met en œuvre dans une résolution de problèmes.
- Elles orientent l'enseignement vers des modèles de résolution de problèmes cohérents avec la créativité du travail scientifique, en proposant de résoudre des situations problématiques ouvertes qui ont un intérêt pour l'élève et qui favorisent la pensée productive non seulement dans le processus de résolution de problèmes mais dans toute activité concernant l'apprentissage des sciences.

... où s'inscrit le
"Modèle de
Résolution de
Problèmes
comme
Recherche"

Dans le cadre de ce deuxième courant de travail, nous avons évalué l'application du "Modèle de Résolution de Problèmes comme Recherche" (Gil et Martínez Torregrosa, 1983) par les élèves de l'enseignement secondaire, ainsi que leur évolution, par rapport aux étudiants qui utilisent les méthodologies d'enseignement habituelles. Les résultats obtenus montrent une plus grande créativité et efficacité des résolveurs appartenant au premier groupe d'étudiants (Martínez Torregrosa, 1987 ; Ramirez, 1990 ; Reyes, 1991).

Sur la base de ces travaux et des résultats obtenus concernant la conception et la réalisation de travaux pratiques, principalement en physique et chimie (Gil et Paya, 1988 ; Paya, 1991) nous faisons dans cet article une proposition didactique : elle consiste à considérer ces activités de l'enseignement des sciences, initialement isolées, comme des variantes d'un même processus d'enseignement s'appuyant sur le traitement de situations problématiques ouvertes avec une orientation semblable à ce qui constitue réellement le travail du chercheur.

1. CARACTÉRISTIQUES D'UN PROCESSUS DE RÉOLUTION DE PROBLÈMES COHÉRENT AVEC UN PROCESSUS DE RECHERCHE

Une des conditions essentielles pour réussir de véritables problèmes est l'exercice de la créativité, capacité qui, selon Ausubel (1990), est l'expression suprême de la résolution de problèmes et inclut des transformations nouvelles ou originales des idées. Parallèlement à cette étroite relation psychologique entre la résolution de problèmes et la créativité, il existe une relation épistémologique entre la recherche et la production de connaissances scientifiques, selon laquelle la Science elle-même peut être considérée comme un processus créatif de résolution de problèmes. Ce processus créatif produit des connaissances à travers la recherche de solutions nouvelles, sous forme d'hypothèses, à de vieux problèmes dans le cadre du corps théorique accepté par la communauté scientifique. Dès lors pourquoi ne pas utiliser un processus d'enseignement de résolution de problèmes qui soit cohérent avec l'activité scientifique ?

La philosophie actuelle de la science a montré l'inexistence d'une unique "méthode scientifique", conçue comme un ensemble de séquences de règles dont le respect conduit inexorablement à la réussite dans la résolution de problèmes. Malgré la diversité, il est possible de faire une analyse épistémologique qui renforce certaines caractéristiques essentielles du travail scientifique et qui signale l'extraordinaire complexité et richesse méthodologique existant dans ces processus de création scientifique. La figure 1 représente le diagramme d'un cycle de recherche, que nous avons utilisé pour fonder épistémologiquement le modèle proposé de résolution de problèmes comme activité de recherche (Gil et Carrascosa, 1992 ; Gil, 1993). Parmi les caractéristiques essentielles des processus de construction scientifiques qui rejoignent les différentes orientations philosophiques existantes, nous faisons les remarques suivantes.

- Les scientifiques n'abordent pas des problèmes complètement définis initialement ; une phase d'analyse permettant de trouver des objectifs d'étude, clairs et définis, et d'établir les conditions délimitant le problème est nécessaire.

- L'émission d'hypothèses constitue une phase fondamentale du processus scientifique car le chercheur généralement ne part pas de données mais au contraire il les cherche en utilisant une spéculation créative fondée sur la théorie existante.

- Le résultat d'un travail scientifique est considéré comme valide non seulement parce que la procédure suivie a été correcte dans ses aspects fondamentaux, mais aussi parce qu'il est compatible avec les hypothèses et cohérent avec le paradigme en vigueur.

importance de la
créativité

il n'existe pas
qu'une unique
"méthode
scientifique" ...

... mais elle
présente des
caractéristiques
essentielle

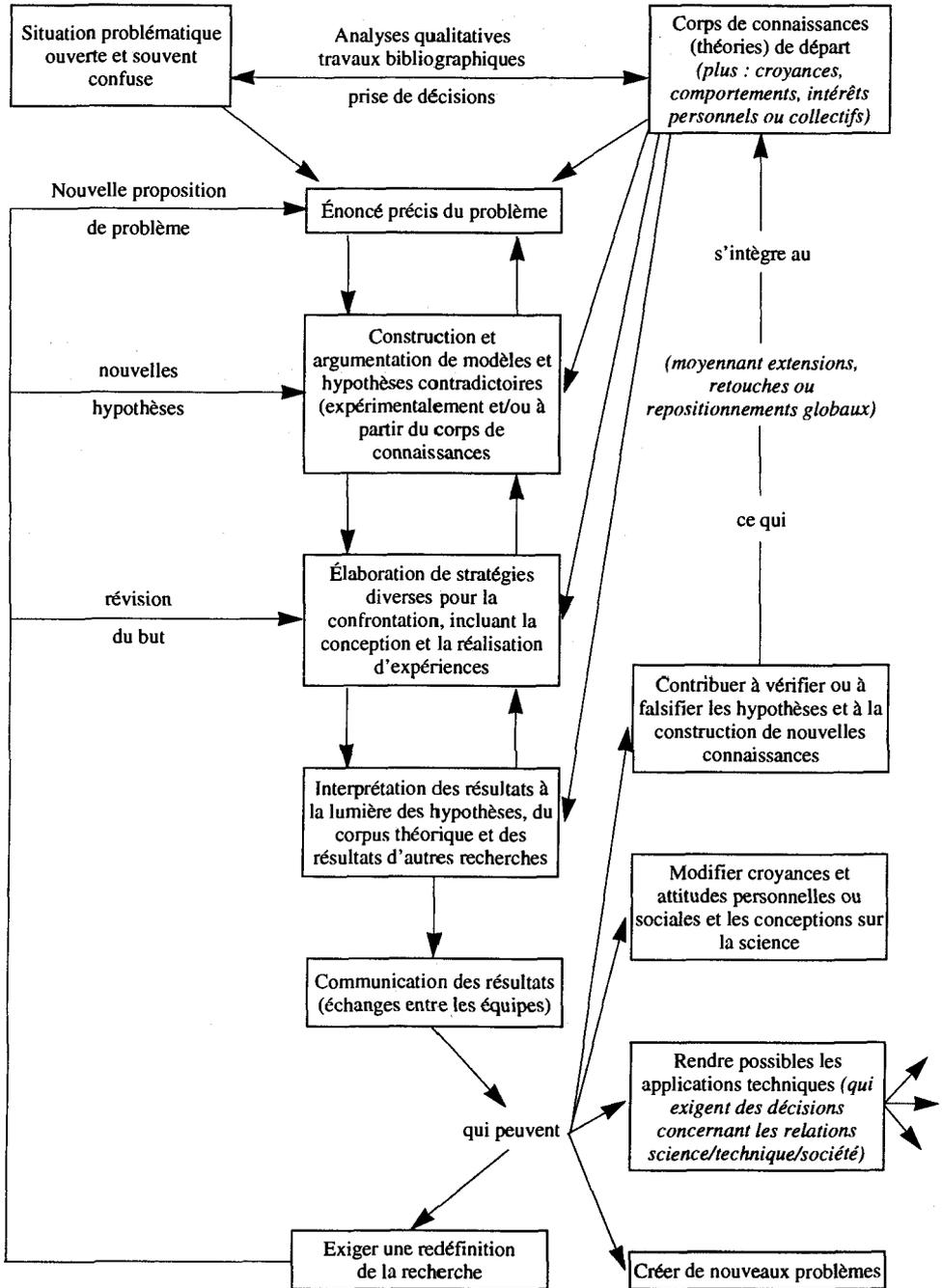


Figure 1 - Diagramme d'un cycle de recherche
 Schéma d'un processus collectif extraordinairement complexe

L'adaptation d'un processus de résolution de problèmes dans la classe à la méthodologie scientifique implique alors de poursuivre les objectifs didactiques suivants.

pour augmenter
la créativité : des
problèmes
ouverts...

- Augmenter la créativité et l'intérêt des étudiants en résolution de problèmes en physique et chimie. Cet objectif n'est pas atteint avec la présentation habituelle d'énoncés standards et fermés puisqu'ils ne favorisent pas l'analyse de la situation problématique et mènent à une résolution routinière et non réfléchie. Ces énoncés répondent à une conception du problème comme "exercice fermé". L'idée de "problème ouvert" est différente : le résolveur doit prendre des décisions afin de délimiter le problème, de le préciser et finalement pour le concrétiser. De plus, l'utilisation de problèmes ouverts facilite l'introduction de liens entre théorie et pratique intéressants pour les étudiants, en particulier ceux relatifs aux relations Sciences/Techniques/Société.

... s'enchaînant
pour permettre
une immersion
dans un contexte
de recherche

- Prendre l'habitude de traiter ces situations problématiques ouvertes à la place des exercices fermés, implique de reprendre l'ancien objectif de familiarisation de l'étudiant avec la "méthode scientifique" que poursuivait le mouvement d'innovation curriculaire des années 60 et 70, mais en l'habillant d'un nouveau fondement où sont intégrés les contenus procéduraux, les contenus conceptuels et les contenus comportementaux (Furió, 1992). Cet aspect de familiarisation avec les méthodes scientifiques est essentiel si l'on souhaite produire un changement méthodologique profond chez les élèves. Ce changement requiert l'immersion prolongée des étudiants dans un contexte de recherche qui n'est pas atteint facilement avec une simple résolution occasionnelle de problèmes ouverts et sans aucun lien les uns avec les autres.

exercer la
pensée
divergente,
rechercher la
cohérence

- Favoriser l'exercice de la pensée divergente. Pour cela le processus de résolution doit favoriser les prises de décisions, telles que l'émission d'hypothèses, l'élaboration de différentes stratégies de résolution et inclure des actions telles que la conception et la réalisation de confrontations expérimentales. Ces aspects du processus sont aussi utilisés comme éléments de validation de la solution obtenue. Ceci correspond à la nécessité, caractéristique des processus scientifiques, de rechercher la cohérence interne des corpus théoriques traités (Popper, 1962).

2. LA RÉOLUTION DE PROBLÈMES COMME ACTIVITÉ DE RECHERCHE

le modèle
proposé s'inscrit
dans le
paradigme
constructiviste...

Une proposition didactique pour l'enseignement de la résolution de problèmes, le "Modèle de Résolution de Problèmes comme Recherche" (Gil et Martinez Torregrosa, 1983), a été élaborée en partant d'un point de vue méthodologique qui prend en compte les aspects-clés du travail scientifique. Ce modèle s'insère dans le paradigme constructiviste. Il tient compte des conceptions alternatives des élèves. Il vise un changement conceptuel (Posner et al., 1982), méthodologique (Gil et Carrascosa, 1985 ; Gil, 1986 ; Hashweh, 1986) et comportemental (Aikenhead, 1985 ; Solbes et Vilches, 1989). Pour cela il utilise les aspects essentiels du travail scientifique afin de stimuler la créativité d'une manière rigoureuse et réfutable. L'idée que sans changement épistémologique et méthodologique il ne peut y avoir de changement conceptuel dépasse la distinction concepts-processus. Ce point de vue est de plus en plus considéré et étayé. (Burbules et Linn, 1991 ; Duschl et Gitomer, 1991). Ainsi, partant de résultats d'expériences (Gunstone et al., 1988) Duschl et al. (1990) pensent qu'il est plausible de suggérer que les changements dans les structures de la connaissance déclarative doivent être accompagnés par des changements concomitants dans les structures de la connaissance procédurale.

... testé en
physique et en
chimie

L'application du "Modèle de Résolution de Problèmes comme Recherche" a été testée expérimentalement pour différents domaines de la physique et de la chimie (Martinez-Torregrosa, 1987 ; Gil et Martinez Torregrosa, 1987 ; Ramirez, 1990 ; Reyes et Furió, 1990 ; Reyes, 1991).

travail plus
efficace et
intéressant pour
élèves et
professeurs

Ce modèle propose l'utilisation de situations problématiques ouvertes intéressantes pour l'étudiant, qui peuvent se construire à partir d'énoncés habituels, sans données numériques de façon à favoriser une résolution littérale. Ainsi le résolveur est dans l'obligation d'analyser la situation car il doit définir le problème, parallèlement il s'habitue à faire face à tout type de problèmes papier-crayon. Tout cela a une influence positive sur son attitude. La transformation d'énoncés fermés en énoncés ouverts est simple et conduit à un travail plus efficace et intéressant pour les élèves et les professeurs (Garret et al., 1990) avec l'avantage qu'il est possible d'aborder le problème de façon adaptée au degré de difficulté accessible à chaque niveau éducatif. Cette "traduction ouverte" des exercices classiques peut conduire à plusieurs possibilités.

Ainsi, par exemple, l'exercice fermé suivant :

"Quel volume de dioxygène est nécessaire pour la combustion de 100 l de butane, les volumes étant mesurés tous les deux dans des conditions normales ?"

peut être transformé, en deux versions de problèmes ouverts telles que :

transformation
d'un énoncé
fermé en deux
énoncés ouverts

- *“Quel est le taux d'humidité d'une pièce dans laquelle fonctionne un radiateur à butane ?”*
- *“Une personne endormie dans une pièce où brûle le gaz d'un radiateur sera-t-elle asphyxiée ?”*

Les phases suivantes structurent le “Modèle de Résolution de Problèmes comme Recherche”. Elles ne doivent pas être considérées comme une succession d'étapes consécutives et rigides mais plutôt comme un ensemble qui oriente le développement des processus.

- I. Envisager quel peut être l'intérêt de la situation problématique abordée.
- II. Analyse qualitative de la situation problématique pour la préciser opérationnellement (action de “fermer” le problème).
- III. Émission d'hypothèses : cette activité permet de faire expliciter d'une manière naturelle les structures cognitives des élèves lors de leur recherche d'une solution au problème abordé.
- IV. Explicitation des stratégies de résolution avant de les mettre en œuvre ; il s'agit d'une pratique métacognitive souhaitable qui permet de mettre en évidence l'itinéraire choisi pour arriver à la solution.
- V. Résolution proprement dite qui conduit à un résultat littéral sous forme d'une expression mathématique.
- VI. Discussion du résultat obtenu en ce qui concerne sa cohérence interne en relation avec les hypothèses émises en phase III.
- VII. Considérer les perspectives ouvertes par la recherche réalisée : envisager par exemple l'intérêt d'aborder la situation à un niveau plus complexe ou considérer ses engagements théoriques (approfondir la compréhension d'un concept) ou pratiques (possibilité d'applications techniques) ou encore concevoir, tout particulièrement, de nouvelles situations de recherche suggérées par l'étude réalisée (Gil et al., 1992).

sept phases qui
n'imposent pas
une succession
rigide mais
orientent des
processus

Il convient de souligner que le “Modèle de Résolution de Problèmes comme Recherche” ne prétend pas faire une reproduction exacte et fidèle d'une axiomatique méthodologique ; il cherche à utiliser, pour résoudre des problèmes papier-crayon, des procédures qui se sont révélées efficaces dans la résolution de problèmes par les scientifiques. Ce modèle intègre également d'autres processus considérés comme nécessaires dans les différents modèles de résolution de problèmes, dans une structure cohérente et fondamentale. En guise d'orientations théoriques, il essaye de changer les habitudes enracinées dans la pensée quotidienne, par exemple la procédure d'essai-erreur, dans le but de favoriser la réflexion, la critique et la créativité des étudiants dans l'apprentissage des sciences.

un modèle
utilisant des
procédures
efficaces dans la
recherche
scientifique

3. APPORTS DE LA "RÉSOLUTION DE PROBLÈMES COMME RECHERCHE" AU PARADIGME CONSTRUCTIVISTE DE L'APPRENTISSAGE DES SCIENCES

Les recherches didactiques réalisées au cours des vingt dernières années sur ce qui avait été initialement nommé "erreurs conceptuelles" ont été à l'origine d'une crise paradigmatique dans l'enseignement traditionnel, ce qui a donné lieu à l'apparition de différents modèles d'apprentissage des sciences, inclus dans une orientation constructiviste de ces processus (Posner et al., 1982 ; Osborne et Wittrock, 1983 ; Driver, 1986 ; Pozo, 1989). Ces modèles relèvent essentiellement de la conception de l'apprentissage comme construction active de nouvelles connaissances par l'apprenant lui-même qui prend nécessairement ses connaissances antérieures comme point de départ. Ces modèles présentent comme stratégie didactique commune, la nécessité de provoquer le changement conceptuel. Les résultats de l'expérimentation de la mise en œuvre de cette stratégie présentent deux nettes insuffisances :

- bien que cette stratégie soit beaucoup plus efficace que l'enseignement normal, certaines conceptions alternatives que l'on croyait dépassées, réapparaissent un peu plus tard (Hewson et Thorley, 1989 ; White et Gunstone, 1989) ;
- la mise en œuvre continuelle de conflits cognitifs, impliquant la négation constante des idées exprimées préalablement par les élèves, peut inhiber leur participation et augmenter leur attitude négative par rapport à l'apprentissage des sciences.

L'histoire et la philosophie des sciences admettent que dans le passage de la physique pré-galiléenne à la physique classique, il s'est produit non seulement une rupture conceptuelle avec le paradigme en vigueur, mais aussi un changement méthodologique (manières de procéder) et épistémologique (manières de raisonner). Dans ce dernier changement s'associaient la créativité de la pensée divergente, la rigueur de la confrontation expérimentale des hypothèses et la cohérence globale avec les théories. C'est-à-dire, que le dépassement de ce que l'on a appelé "*physique du sens commun*" n'a été possible qu'en substituant à la méthodologie et l'épistémologie sous-jacentes (de "sens commun") une épistémologie scientifique (Hashweh, 1986). Il est possible d'établir par analogie l'hypothèse que le changement conceptuel des étudiants ne se produira que s'il est accompagné d'un changement méthodologique profond (Gil et Carrascosa, 1985). Par ailleurs, l'objectif de la construction de connaissances scientifiques n'est pas de remettre en question les idées de celui qui veut aborder la solution d'un problème, l'objectif est plutôt la recherche de solutions toujours hypo-

la construction active de nouvelles connaissances par l'apprenant...

... à la base de modèles qui ont révélé deux insuffisances

analogies entre les facteurs du passage de la physique pré-galiléenne à la physique classique...

et ceux du
changement
conceptuel des
étudiants

thétiques, qui serviront à mieux expliquer le monde qui nous entoure. En conséquence, les stratégies didactiques constructivistes devraient se centrer sur le traitement de situations problématiques plus ou moins ouvertes, qui ont de l'intérêt pour l'élève et qui sont cohérentes avec la nature du travail scientifique. L'apprentissage significatif des théories et concepts et la familiarisation avec leurs procédures de construction doivent constituer des objectifs non pas autonomes mais au contraire interdépendants. La dénomination la plus adaptée à notre proposition est donc bien celle d'*"apprentissage par la recherche"* (Gil et al., 1991).

l'isomorphisme
entre le travail de
l'élève et celui
du chercheur...

L'isomorphisme certain entre, d'une part, l'apprentissage de l'élève par construction de ses connaissances à partir de ses conceptions et, d'autre part, la recherche scientifique comme construction de connaissances, peut être complété par les aspects méthodologiques et sociologiques. Cela implique de reconnaître que :

...présente aussi
des aspects
méthodologiques
et sociologiques

- le corpus de connaissances est le résultat des apports des générations antérieures ;
- la connaissance scientifique est produite dans des structures institutionnelles par petits groupes (Bernal, 1967 ; Kuhn, 1971) ;
- ces groupes sont en interaction avec d'autres groupes.

3.1. Comment organiser le travail des élèves pour l'apprentissage comme une activité de recherche ?

La figure 2 rassemble les trois composantes de l'apprentissage par la recherche de manière similaire à l'apprentissage coopératif de Wheatley (1991) (Furió et al., 1994).

les trois
composantes de
l'apprentissage
par la recherche...

- Les tâches d'apprentissage peuvent être préparées par les enseignants sous forme de *programmes guides d'activités* avant l'interaction éducative (Furió et Gil, 1978 ; Martínez-Torregrosa, 1987). Nous reviendrons sur ce point plus loin.
- L'organisation de la classe se fait en petits groupes de recherche sous la direction du professeur.
- Le fonctionnement des groupes ne doit pas être autonome, les interactions entre les groupes et avec la communauté scientifique représentée par le professeur, les textes, etc. doivent être favorisées.

qui permettra
un triple
changement :
conceptuel,
méthodologique,
comportemental

Avec son corpus de connaissances, l'élève aborde initialement une situation problématique ouverte qu'il doit rendre plus concrète. Pour cela, il élabore une analyse qualitative de la situation et une fois cette situation précisée, il conduit sa recherche. Dans ces processus, le corpus de connaissances disponibles est mis à l'épreuve et, en toute logique il y aura des conflits cognitifs et/ou affectifs, non seulement par rapport aux schémas conceptuels, mais aussi par rapport aux procédures ou stratégies que l'élève utilise d'habitude, par rapport aux valeurs, aux attitudes et aux règles

assimilées. Ainsi, l'apprentissage par la recherche, basé sur la résolution de problèmes, rend possible la réussite du triple changement conceptuel, méthodologique et comportemental.

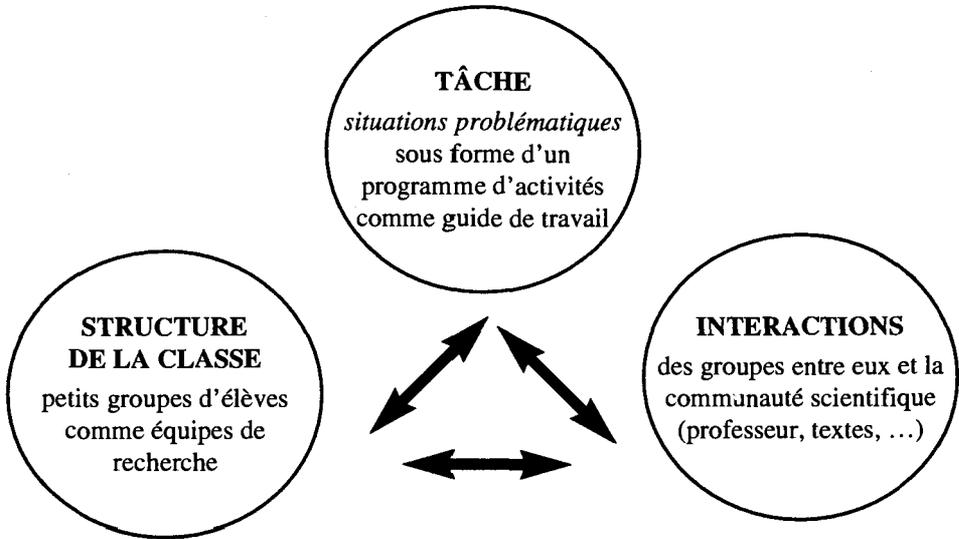


Figure 2 - Éléments essentiels d'une classe (de chimie) dans l'apprentissage par la recherche

3.2. Le programme d'activités : guide de travail dans le développement curriculaire de l'apprentissage par la recherche

L'élaboration d'un programme d'activités dans l'apprentissage par la recherche est présidée par l'idée (Furió et Gil, 1978) que chaque unité thématique, abordée sous forme de situation problématique, se traduit par un ensemble d'activités, dûment articulées selon un fil conducteur établi par les élèves, comme nous l'avons décrit dans le paragraphe précédent. Cela fait que le professeur est en situation de chercheur par rapport à ce qui est en jeu dans la classe. Cela doit produire une amélioration significative de son enseignement en lui permettant de l'évaluer par la critique. (Cañal et Porlán, 1987).

le professeur :
un chercheur
dans sa classe

L'élaboration de programmes d'activités doit être conçu comme une hypothèse de travail du professeur et comme une tâche propre à la recherche-action appliquée au matériel didactique disponible et aux objectifs poursuivis ; ceci implique d'éliminer une présentation rigide de ce genre de stratégies didactiques. Malgré cela, la programmation

nécessité d'une
programmation
flexible des
activités

flexible d'un ensemble d'activités préalablement préparées par le professeur est nécessaire car il ne s'agit pas de faire en sorte que les élèves construisent leurs "propres" idées sur le monde, mais qu'ils élaborent des théories scientifiques correctement constituées (Millar, 1987). Ils doivent donc réaliser une (re)construction de connaissances fondée sur les critères de la méthodologie scientifique. En conséquence, il convient de soulever quelques considérations sur les situations problématiques qui doivent être prises en compte dans l'élaboration des programmes d'activités.

- Les activités présentées doivent susciter une conception du travail ainsi qu'éveiller l'intérêt des élèves pour la tâche.

- Les situations problématiques doivent posséder une **pertinence logique** : elles doivent être insérées dans un contexte théorique de sorte qu'elles ne soient ni aussi convergentes que les exercices d'application habituels, ni aussi générales et ouvertes que les questions d'opinion, ces dernières étant essentiellement divergentes et sans critères de validation possibles.

ce qui est
souhaitable pour
les situations
problématiques
prévues

Ces situations doivent posséder également une **pertinence psychologique** : le travail proposé doit correspondre aux capacités des élèves, en termes piagétien, c'est-à-dire que l'on doit tenir compte du seuil de compréhension de la plupart des élèves du niveau scolaire considéré, ainsi que de leurs schémas conceptuels, de sorte que le problème soit situé dans la zone que Vigotsky (1973) appelle "*zone proximale de développement*".

- Les situations proposées doivent être perçues et "ressenties" comme des problèmes réels et être intéressantes pour les élèves (Garret, 1988), ce qui n'est pas toujours facile. Cette méthode de résolution par la recherche de problèmes papier-crayon, base de "l'apprentissage par la recherche" que nous proposons, a démontré, au moins en physique et en chimie, qu'elle est capable de produire la motivation intrinsèque à tout processus de recherche et qu'elle peut améliorer considérablement l'attitude des étudiants envers la Science et son apprentissage.

une méthode
capable de
provoquer la
motivation
intrinsèque à tout
processus de
recherche

4. PEUT-ON ÉLARGIR LE "MODÈLE D'APPRENTISSAGE DES SCIENCES PAR LA RECHERCHE" À D'AUTRES APPRENTISSAGES SPÉCIFIQUES ?

Envisager cette question requiert une analyse préalable et une réponse réfléchie, très éloignée de tout "colonialisme intellectuel" de la didactique des sciences expérimentales vis-à-vis d'autres didactiques spécifiques. En principe, il est pertinent de signaler que le modèle proposé "d'apprentissage par la recherche" doit être applicable aux curricula du

ce modèle peut
être proposé
à partir de
14-15 ans

niveau de l'enseignement secondaire (plus précisément pour les élèves à partir de 14 ou 15 ans) et de l'université. À ces niveaux, les apprenants sont censés être en mesure de construire essentiellement des corpus cohérents de connaissances disciplinaires des sciences expérimentales dont les niveaux de formulation dans la phase d'introduction seront élémentaires.

des limites à son extension à d'autres disciplines

Dans ces curricula il est sûrement possible de proposer des finalités et des objectifs convergents, comme par exemple la production du triple changement conceptuel, procédural et comportemental aussi bien dans les sciences expérimentales que dans les sciences sociales ou les mathématiques. Cependant, il convient de souligner les dangers didactiques qui consistent à considérer les connaissances procédurales sans liaison avec les connaissances scientifiques caractéristiques de chaque discipline. Nous estimons qu'il y a de sérieuses limites d'ordre épistémologique à étendre un modèle d'enseignement-apprentissage basé sur les implications de l'histoire et de la philosophie des sciences dures, comme la physique, à d'autres plus souples, telles que les sciences sociales ou les langues, leurs propositions, leurs corps théoriques et leurs processus de construction étant certainement différents.

analogies avec le modèle d'apprentissage coopératif de Wheatley

Cependant, cela n'empêche pas l'émergence d'idées intéressantes dans un domaine didactique ou psychologique concret, qui puissent être généralisées et intégrées dans d'autres didactiques spécifiques. Dans notre cas, la conception de l'apprentissage comme résolution de situations problématiques ouvertes, que nous défendons, est très similaire à la notion d'apprentissage coopératif défendue par Wheatley (1991) aussi bien pour l'enseignement des sciences que pour celui des mathématiques. Peuvent aussi être intéressantes pour d'autres domaines, les stratégies didactiques basées sur la métaphore qui consiste à considérer des groupes d'élèves comme des équipes de jeunes chercheurs, à condition de respecter les raisons et les valeurs (axiologie) de la science que l'on souhaite (re)construire, ses propres contenus conceptuels, ses formes de raisonnement (épistémologie) et ses méthodes (méthodologie).

possibilité de transferts partiels du modèle à d'autres didactiques

En définitive, la non autonomie et l'interdépendance des objectifs de changement conceptuel, procédural et comportemental soulignées dans le "Modèle d'apprentissage des Sciences comme activité de recherche" font émettre des réserves d'ordre théorique sur sa généralisation totale à d'autres didactiques spécifiques. Il est cependant possible d'effectuer des transferts partiels du modèle qui puissent être utiles (et en conséquence intégrés) à différents corps théoriques didactiques. Cette nécessité de collaborer entre tous les chercheurs en didactique pour permettre une "fécondation croisée" d'idées, est vitale dans des moments

tels que ceux que nous vivons actuellement, où se constituent les noyaux durs, en termes lakatosiens, des différentes didactiques spécifiques.

Carlos José FURIÓ MAS
 Université de Valence, Espagne
 Jacinto ITURBE BARRENETXEA
 Université du Pays Basque, Espagne
 José Vicente REYES MARTÍN
 I.B. Txurdínaga Behekoa
 Pays Basque, Espagne

La traduction a été assurée par Cristina Carballo avec la collaboration de Claudine Larcher.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AIKENHEAD, G.S. (1985). "Collective decision making in the social context of science", *Science Education*, 69 (4), 453-475.
- ANDERSON, J. (1990). *Cognitive Psychology and its implications*. New York : W.H. Freeman and Co.
- AUSUBEL, P.D., 1990 *Psicología Educativa. Un punto de vista cognitivo*. (Trillas : México).
- BERNAL, J.D. (1967). *Historia Social de la Ciencia*. Barcelona : Península.
- BURBULES, N. & LINN, M. (1991). "Science education and philosophy of science : congruence or contradiction ?", *International Journal of Science Education*, 13 (3), 227-241.
- CAÑAL, P. & PORLÁN, R. (1987). "Investigando la realidad próxima : un modelo didáctico alternativo", *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (2), 89-96.
- DREYFUS, A., JUNGWIRTH, E. & ELIOVITH, R. (1990). "Applying the « cognitive conflict » strategy for conceptual change. Some implications difficulties, and problems", *Science Education*, 74 (5), 555-569.
- DRIVER, R. (1986). "Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos", *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 3-15.
- DUSCHL, R. & GITOMER, D. (1991). "Epistemological perspectives on conceptual change : implications for educational practice", *Journal for Research in Science Teaching*, 28 (9), 839-858.

DUSCHL, R.A., HAMILTON, R. & GRANDY, R.E. (1990). "Psychology and epistemology : match or mismatch when applied to science education ?", *International Journal of Science Education*, 12 (3), 230-243.

FURIÓ, C. (1992. "¿Por qué es importante la teoría para la práctica de la educación científica?", *Aula de Innovación Educativa*, 4-5, 4-10.

FURIÓ, C., BULLEJOS, J. et de MANUEL, E. (1994). "L'apprentissage de la réaction chimique comme activité de recherche". *Aster*, 18, 141-164.

FURIÓ, C. & ESCOBEDO, M. (1993). "La fijación funcional en el aprendizaje de la Química. Un ejemplo paradigmático : El Principio de Le Chatelier", en *Actas del II Congreso de ESQLIOL* (Enseñanza Superior de la Química en Lenguas de Origen Latino) (Málaga, septiembre de 1992) (en prensa).

FURIÓ C. & GIL., D. (1978). *El programa-guia : una propuesta para la renovación de la didáctica de la Física y Química*. Universidad de Valencia : ICE.

GARRET, R.M. (1987). "Issues in science education : problem-solving, creativity and originality", *International Journal of Science Education*, 1, 26-33.

GARRET R.M. (1988). "Resolución de problemas y creatividad : implicaciones para el currículo de ciencias", *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 224-229.

GARRET, R.M., SATTERLY, D., GIL, D. & MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1990). "Turning exercises into problems : An experimental study with teachers in training", *International Journal of Science Education*, 12 (1), 1-12.

GIL, D. (1986). "La metodología científica y la enseñanza de las ciencias : unas relaciones controvertidas", *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 111-121.

GIL, D. (1993). "Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique". *Aster*, 17, 41-64.

GIL, D. & CARRASCOSA, J. (1992). "Approaching pupils' learning to scientific construction of knowledge", *2nd International Conference on History and Philosophy of Science in Science Teaching*. Canada : Ontario.

GIL, D., MARTINEZ-TORREGROSA, J., RAMIREZ, L., DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD, M. & PESSOA de CARVALHO, A. (1992). "La didáctica de la resolución de problemas en cuestión : elaboración de un modelo alternativo", *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 6, 73-85.

GIL, D. & CARRASCOSA, J. (1985). "Science learning as a conceptual and methodological change", *European Journal of Science Education*, 7 (3), 231-236.

GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIO, C. & MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La Enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria*. Barcelona : Horsori.

- GIL, D. & MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1983). "A model for problem-solving in accordance with scientific methodology", *European Journal of Science Education*, 5, 447-457.
- GIL, D. & MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1987). *La resolución de problemas de Física. Una didáctica alternativa*. Madrid : M.E.C. & Vicens-Vives.
- GIL, D. & PAYA, J. (1988) "Los trabajos prácticos de Física y Química y la metodología científica", *Revista de Enseñanza de la Física*, 2 (2), 73-79.
- GUNSTONE, R., WHITE, R. & FENSHAM, P. (1988). "Developments in style and purpose of research on the learning of science", *Journal of Research in Science Teaching*, 25, 513-530.
- HASHWEH, M.Z. (1986). "Towards and explanation of conceptual change", *European Journal of Science Education*, 8 (3), 229-249.
- HEWSON, P.W. & THORLEY, N.R. (1989). "The conditions of conceptual change", *International Journal of Science Education*, 11 (spécial), 541-553.
- KUHN, T.S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México : Fondo de Cultura Económica.
- MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1987). *La resolución de problemas de Física como investigación : un instrumento de cambio metodológico*. (Tesis doctoral no publicada : Universitat de València).
- MILLAR, R. (1987). "Towards a role for experiment in the Science teaching laboratory", *Studies in Science Education*, 14, 109-118.
- MOHAPATRA, J.K. (1987) "Can problem-solving in physics give an indication of pupils « process knowledge » ?", *International Journal of Science Education*, 9 (1), 117-123.
- OSBORNE, R.J. & WITTRICK, M.C. (1983). "Learning science : a generative process", *Science Education*, 67 (4), 489-508.
- PAYA, J. (1991). *Los trabajos prácticos en la enseñanza de la Física y de la Química : un análisis crítico y una propuesta fundamentada*. (Tesis Doctoral : Universidad de València).
- POPPER, K.R. (1962). *La lógica de la investigación científica*. Madrid : Tecnos.
- POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W. & GERTZOG, W.A. (1982). "Accommodation of a scientific conception : towards a theory of conceptual change", *Science Education*, 66, 211-227.
- POZO, J.I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid : Morata.

RAMIREZ, J.L. (1990). *La resolución de problemas de Física y de Química como investigación en la Enseñanza Media : un instrumento de cambio metodológico*. (Tesis doctoral : Universidad de València).

REYES, J.V. (1991). *La resolución de problemas de Química como investigación : una propuesta didáctica basada en el cambio metodológico*. (Tesis doctoral : Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea).

REYES, J.V. & FURIÓ, J.C. (1990). "O Modelo de Resolução de Problemas como Investigaçao. Sua aplicaçao à Química", *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química*, 41 (2), 11-16.

SELVARATNAM, M. (1990). "Problem-solving – a model approach", *Education in Chemistry*, Nov., 163-165.

STENHOUSE, L. (1975). *An introduction to curriculum research and development*. London : Heineman. *Investigación y desarrollo del curriculum* (1984). Madrid : Morata.

SOLBES, J. & VILCHES, A. (1989). "Interacciones C/T/S/ : un instrumento de cambio actitudinal", *Enseñanza de la Ciencias*, 7 (1), 14-20.

VIGOTSKY, L.S. (1973). *Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar*. Psicología y Pedagogía. Madrid : Akal.

WHEATLEY, G.M. (1991). "Constructivist perspectives on Science and Mathematics learning", *Science Education*, 78 (1), 9-21.

LE SAVOIR SCOLAIRE COMME PROCESSUS ÉVOLUTIF : APPLICATION À LA CONNAISSANCE DE NOTIONS ÉCOLOGIQUES

El conocimiento escolar como proceso evolutivo : aplicación
al conocimiento de nociones ecológicas, *Investigación en la Escuela*,
1994, 23, 65-76, Díada Editoras

J. Eduardo García

Dans cet article sont présentées quelques réflexions sur la formulation et l'organisation du savoir scolaire qui caractérisent cette connaissance comme étant un processus évolutif qui se concrétise, dans le curriculum, par quelques hypothèses de progression pour la construction de la connaissance. Ces hypothèses sont constituées par les apports du constructivisme, de l'épistémologie de la complexité et des disciplines scientifiques en relation avec les contenus en question. Nous proposons également une vision du cosmos ("cosmovoision") qui suppose la transition d'une vision simple du monde vers une autre plus complexe. Enfin, nous appliquons cette proposition à l'étude des notions écologiques.

PERSPECTIVES POUR LA CARACTÉRISATION DU SAVOIR SCOLAIRE

L'élaboration d'une théorie du savoir scolaire et sa concrétisation en propositions curriculaires exigent une très grande convergence entre les champs de savoirs impliqués dans la construction d'un cadre de référence didactique, lequel intègre les réflexions psychologique, épistémologique et socio-politique. Dans cet article, nous proposons quelques idées en référence à ce cadre théorique général, dans la ligne développée par divers matériels du Projet IRES (Groupe de *Investigación en la Escuela*, 1991a et 1991b ; García et García, 1992 ; García et Cubero, 1993 ; Porlán, 1993). Nous en proposons également une application au cas concret de la connaissance scolaire du champ écologique.

Les matériels du Projet IRES tiennent compte de trois points de vue qui justifient la formulation et l'organisation de la connaissance scolaire :

- un point de vue épistémologique systémique et complexe qui, à partir d'une vision non positiviste du savoir scientifique, caractérise la connaissance comme organisée, relative et procédurale ;
- un point de vue constructiviste qui indique quelles seraient les conditions pour qu'il y ait apprentissage signifiant ;
- un point de vue idéologique critique, qui introduit l'idée qu'il est nécessaire d'enrichir et de complexifier la connaissance quotidienne, moyennant un processus de négociation sociale basé sur la communication et la coopération.

Afin d'éviter tout réductionnisme didactique, les trois points de vue doivent être pris également en compte. En conséquence nous proposons un croisement des

différents apports pour fonder une perspective intégrée de la connaissance scolaire. La figure 1 présente un résultat possible de ce croisement prenant en compte les dimensions qui définissent la connaissance scolaire (comment s'organise-t-elle, comment est-elle élaborée et pourquoi est-elle formulée). La même figure montre également les implications curriculaires de la proposition, aspect que nous traiterons ci-après.

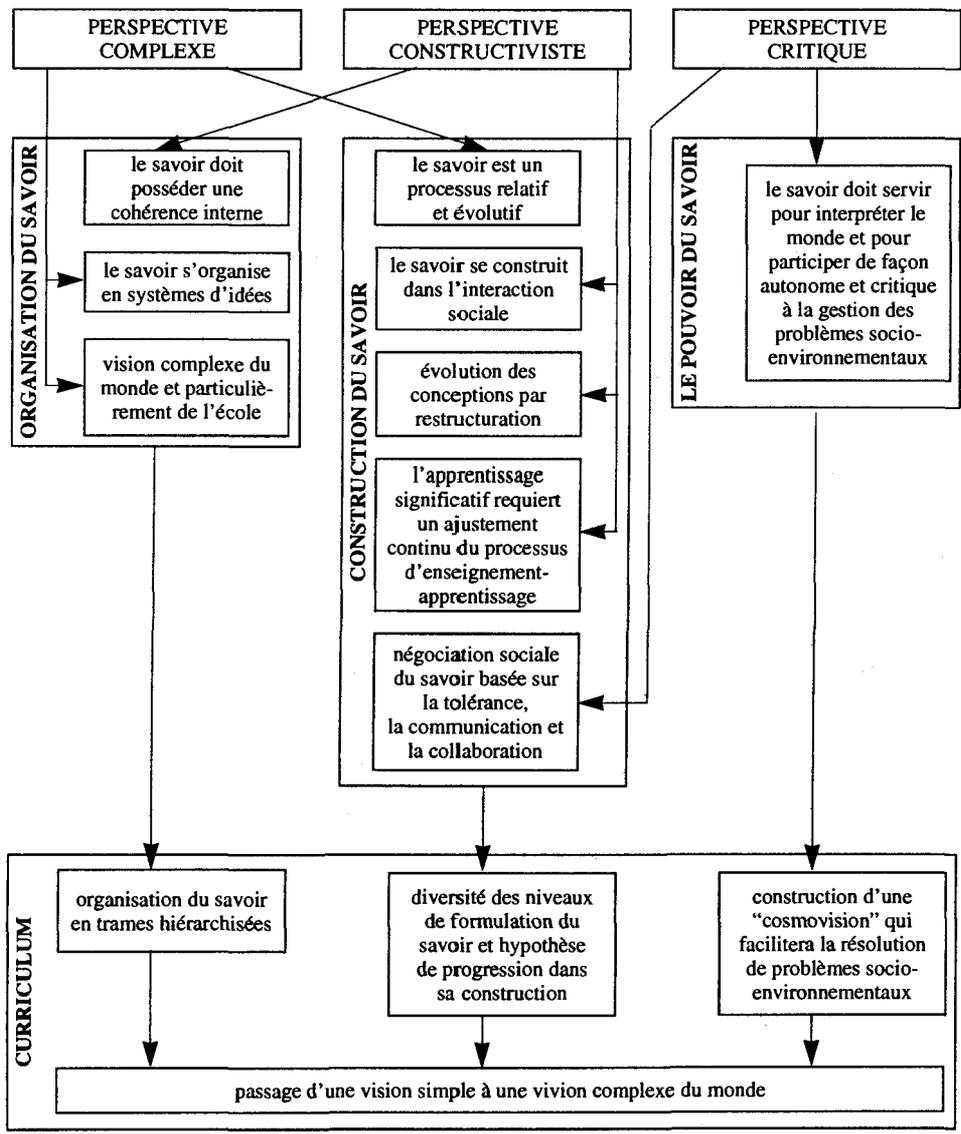


Figure 1 - Perspectives théoriques pour une caractérisation intégrée du savoir scolaire

LE SAVOIR SCOLAIRE COMME PROCESSUS ÉVOLUTIF

Une vision intégrée et complexe de la connaissance scolaire comprend, en conséquence, deux principes essentiels qui présentent de nettes implications curriculaires.

Le premier (dimension structurale) se réfère à la caractérisation de la connaissance scolaire comme une connaissance organisée et hiérarchisée, comme un système d'idées qui a son répondant curriculaire dans l'élaboration - par le professeur - de trames de contenus, et dans l'explicitation - par l'élève - de ses conceptions sous forme de cartes conceptuelles. Les trames de contenus doivent prendre en compte la diversité des contenus à traiter (amplitude de la trame) et aussi les relations entre les différentes notions considérées, relations aussi bien verticales (hiérarchies de contenus avec désignation de ceux qui ont un plus grand pouvoir structurant du domaine) que horizontales (connexions entre les contenus).

Le deuxième principe (dimension dynamique) caractérise la connaissance scolaire comme un processus relatif. Par ce processus évolutif, ouvert et irréversible, les nouveautés sont élaborées à partir de ce qui est ancien, avec une progression par de petits réglages du système (assimilation, restructuration faible) aussi bien que par une réorganisation plus large (accommodation, restructuration forte). Ce principe se traduit dans le curriculum par l'élaboration des hypothèses relatives à la progression des idées des élèves dans la construction de la connaissance scolaire. Ces hypothèses de progression doivent tenir compte des différents niveaux de formulation des contenus et servir de cadre de référence pour orienter la dynamique de la classe, de façon à faciliter un réglage adapté à l'enseignement et à l'apprentissage.

Bien qu'on puisse faire une hypothèse de progression limitée à chaque contenu déterminé, il est didactiquement plus intéressant d'envisager l'évolution de tout un système d'idées montrant l'organisation possible de divers contenus hiérarchisés en trames (voir figure 2).

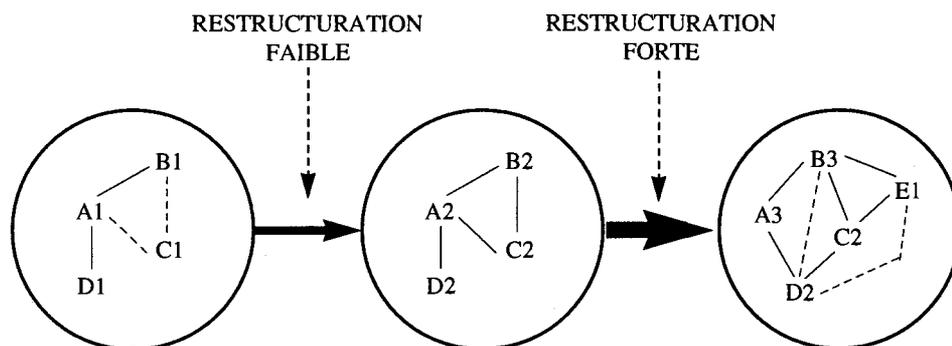


Figure 2 - Progression de la construction du savoir scolaire en rapport avec l'évolution d'un système d'idées

Un tel cadre évolutif accorde davantage d'importance au processus lui-même (avec niveaux de formulation intermédiaires) qu'à son produit final (le niveau de formulation fixé comme objectif). Elle préfère une dynamique (évolution des systèmes d'idées des élèves, hypothèses orientatrices et niveaux de formulation ...) à une statique (listes de contenus, diversité et densité de contenus, trames de contenus). Notre proposition de trames et d'hypothèses de progression répond au problème de la formulation et de l'organisation des contenus. Nous aborderons ensuite la question des contenus qui doivent être traités à l'école.

QUEL SAVOIR SCOLAIRE À CONSTRUIRE ?

Une théorie du savoir scolaire doit répondre aux questions suivantes : quels systèmes d'idées doivent construire les élèves ? Pourquoi et comment les construire ? Pour envisager ces problèmes nous devons tenir compte des points de vue théoriques que nous venons de développer et examiner les différentes sources d'information qui peuvent être utilisées dans la sélection et dans la formulation des contenus à traiter.

Nous estimons qu'il faudrait tenir compte des sources suivantes :

- une certaine vision du monde, qui nous donne la trame de base des contenus, sous-jacente aux trames partielles, et permet d'élaborer une hypothèse de progression générale allant du simple au complexe, aspect sur lequel nous reviendrons dans le paragraphe suivant ;
- les apports de l'analyse de la nature des contenus scientifiques traités, tant du point de vue de la logique des disciplines, utile pour l'élaboration des trames conceptuelles, que du point de vue de leur histoire, utile pour l'analyse des difficultés possibles d'apprentissage des élèves, et de la façon de les surmonter ;
- les idées des élèves, comme une constante à prendre en compte non seulement dans l'élaboration mais aussi dans le développement des hypothèses de progression du savoir ;
- la problématique environnementale, aspect-clé pour la définition de l'objet d'étude, pour les problèmes sur lesquels les élèves effectuent leur recherche et le pourquoi de la connaissance que l'on souhaite construire.

La figure 3 résume ces sources, avec leur incidence sur les aspects didactiques.

UNE "COSMOVISION" QUI DÉPASSE LE RÉDUCTIONNISME DISCIPLINAIRE

Afin de définir le savoir scolaire souhaitable, objectif de référence de l'intervention éducative, nous avons besoin de caractériser préalablement le modèle de développement humain, individuel et social voulu. À cet effet, nous pouvons formuler très schématiquement quelques grandes finalités éducatives consistant à doter les personnes et les groupes sociaux :

- d'une vision d'ensemble du monde qui leur permette de comprendre et d'agir dans la réalité qui les entoure ;
- de ressources qui favoriseront l'exercice de leur autonomie et de leur coopération, de leur créativité et de leur liberté ;

- d'une formation qui facilite l'investigation de leur milieu, la réflexion sur leur propre pratique, non seulement dans l'environnement scolaire mais également dans les autres champs de leur activité quotidienne.

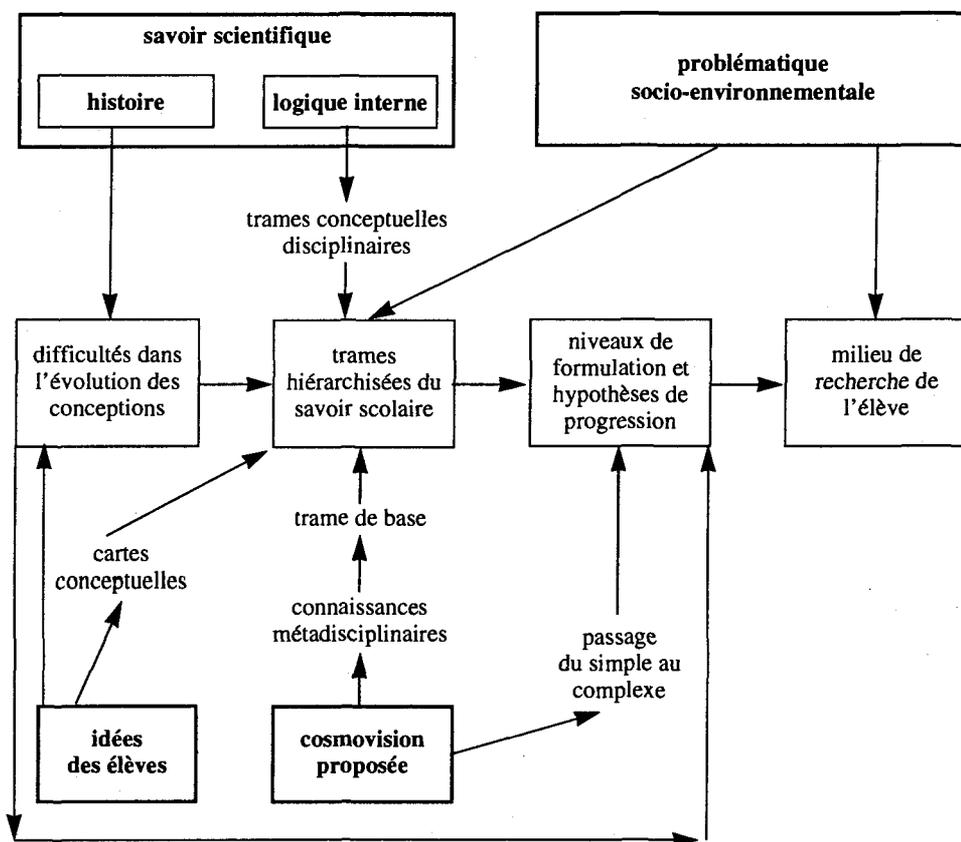


Figure 3 - Les sources d'information qui déterminent le savoir scolaire et leur incidence sur l'organisation des contenus (les sources sont en gras)

Cette vision du monde ne relève pas d'une pensée simple car, bien que le savoir quotidien soit lié à la résolution de problèmes pratiques, proches des individus, il est vrai que les réponses obtenues et les problèmes posés par le milieu n'ont pas toujours le même degré de complexité. Il n'est pas équivalent de s'interroger sur ce qu'il faut faire pour aller d'une ville à une autre, de résoudre des problèmes relatifs à l'usine qui pollue mais donne du travail aux habitants de la région, ou de voir comment rendre compatible l'état de santé personnel avec le rythme de vie que nous menons. Il y a des problèmes dont la nature spécifique exige évidemment l'usage d'une pensée plus complexe. En conséquence, dans la mesure où nous estimons que la gestion des problèmes environnementaux (santé, aménagement du territoire, pollution, marginalisation des minorités, contrôle démographique, etc.) ne relève pas seulement de la responsabilité de

l'expert, mais que tous les citoyens doivent y participer activement, nous serons obligés de soutenir la construction d'une connaissance scolaire qui la rende possible.

Nous estimons qu'une telle connaissance doit dépasser la dichotomie traditionnelle entre novices et experts disciplinaires. Celle-ci fait considérer, face à une tâche quelconque, deux types de réponses possibles : celle du novice, ignorant du sujet et partant d'une vision simple du monde, qui essaie de donner une réponse, souvent très éloignée du savoir scientifique et technique ; celle de l'expert disciplinaire, capable de donner une réponse complexe, mais dans la mesure où la tâche ne dépasse pas son domaine de compétence. Face à cette dichotomie, nous envisagerons la possibilité d'une troisième option : celle du généraliste qui indépendamment de ses connaissances concrètes sur le sujet, se servira de catégories générales pour la résolution du problème, suffisamment puissantes pour donner une réponse complexe à la tâche en question.

Examinons un exemple relatif au processus de germination d'une graine. Lorsque des personnes novices sont interrogées sur ce qu'il y a à l'intérieur d'une graine pour qu'elle puisse germer quand on lui verse de l'eau, soit elles ne répondent pas, soit elles décrivent l'intérieur de la graine comme un tout indifférencié, soit elles posent une hypothèse préformiste (la plante préexistait en miniature à l'intérieur de la graine). Lorsqu'on pose la question à des biologistes, ils parlent eux, de facteurs abiotiques, de téguments, d'embryons et de programme génétique. Cependant, il y a quelques réponses données par des non-biologistes, qui relèvent d'une catégorie conceptuelle différente. Certaines personnes affirment ainsi que la graine doit posséder quelque chose (bien qu'il ne disent pas de quoi il s'agit), une sorte d'information, qui lui permet de "savoir" comment réagir en présence de l'eau. C'est-à-dire que, sans connaître la nature de l'embryon ni la présence d'un programme génétique (connaissance biologique de l'expert disciplinaire), une personne disposant d'une vision élargie et profonde, peut avoir l'intuition de la nécessité d'un programme - elle appliquera à la résolution de la tâche quelques catégories générales (comme les idées d'interaction et d'information) -, d'un grand potentiel explicatif en ce qui concerne la structure et le fonctionnement du monde.

En définitive, nous ne proposons pas tellement une substitution du savoir scientifique au savoir quotidien mais plutôt l'enrichissement du savoir quotidien au travers de la construction d'une vision du monde qui servira à aborder les problèmes complexes posés par la réalité. Plutôt qu'une institution impliquée dans la seule reconstruction du savoir scientifique, l'école serait ainsi davantage un lieu de réflexion sur la problématique environnementale, une aire de contact entre les savoirs disciplinaires et les besoins et intérêts des sujets et groupes sociaux.

Le Projet IRES travaille actuellement cette question (García et García, 1992) en proposant des catégories générales structurantes pour les systèmes d'idées à construire par les élèves. Ces métaconnaissances (ou connaissances métadisciplinaires), seraient un ensemble de concepts, procédures et valeurs agissant comme des axes intégrateurs qui orientent toute la connaissance scolaire. Ces connaissances métadisciplinaires renvoient à des notions telles que "système", "changement", "interaction" ou "diversité" et aux procédures et valeurs correspondant à une vision relativisante autonome et solidaire du monde.

Ces notions doivent être construites par le passage à la complexité où, à une vision indifférenciée du monde se substitue une organisation additive, et à partir de celle-ci, une vision systémique (la réalité comme réseau d'interactions et comme hiérarchie de systèmes imbriqués). Ce passage comporte aussi une

dimension causale, grâce à laquelle la causalité mécanique (un facteur du milieu en déterminant un autre) est progressivement remplacée par la notion d'interaction (différents facteurs sont mutuellement déterminés).

Par ailleurs, chaque étape suppose un certain degré de décentration par rapport au monde qu'il prétend connaître. Ainsi, à partir d'une conception égocentrique où prédomine la perspective propre à chaque sujet, on passe à une conception anthropocentrique (la réalité du point de vue humain) et, en partant de là, à une vision relativiste, où l'individu est capable d'adopter différentes perspectives et de considérer simultanément divers aspects de la réalité.

Une telle évolution vers la complexité ne se réfère pas seulement à la connaissance conceptuelle, puisque l'idée de départ de toute "cosmovision" implique aussi des composantes procédurales et comportementales. Ainsi, dans la résolution de problèmes et le traitement de l'information, y a-t-il une progression des capacités et compétences qui conduit de la catégorisation et de la classification du monde, des relations sociales ou du souci de son propre corps, à la maîtrise de la pensée formelle et à un développement maximal des capacités et compétences d'évaluation et de contrôle. Dans le domaine des attitudes, on note aussi une évolution des valeurs et des affects, de la subjectivité irrationnelle et dogmatique, de la dépendance morale et affective, vers une autonomie morale et affective, vers le respect de la diversité et la reconnaissance du rôle qui revient à la négociation démocratique dans le traitement de l'asymétrie des relations sociales.

La proposition d'une telle "cosmovision" n'en suppose pas l'usage mécanique et simplificateur, sans prendre en compte la grande diversité d'itinéraires didactiques, en fonction de chaque contexte et de chaque élève. Son application rigide et linéaire comporterait le risque de restreindre et de renfermer la façon dont les élèves construisent leurs connaissances, ce qui mènerait à un nouveau divorce entre la culture académique et les idées des élèves dans leur vie quotidienne. Il s'agit plutôt que les professeurs disposent d'un cadre de référence pour programmer des contenus scolaires, avec une structure épistémologique claire et cohérente, qui éclaire un certain modèle de développement humain et qui facilite l'aide pédagogique aux élèves en rapport avec le dit modèle. Évidemment, la construction d'une telle "cosmovision" exige un va-et-vient continu du particulier au général, ainsi que son adaptation à chaque réalité concrète.

UN MODÈLE DE SYNTHÈSE

L'utilisation de trames et d'hypothèses de progression dans le curriculum n'est pas seulement relatif au quoi enseigner, surtout si l'on considère que les différents éléments curriculaires (quoi enseigner, comment l'enseigner et l'évaluer) sont des éléments en interaction dans un même système. C'est dire que, la façon dont s'organise la connaissance scolaire est en interaction avec la manière dont elle se construit et, par voie de conséquence, avec les stratégies méthodologiques et avec l'évaluation. En cohérence avec ce qui a été dit jusqu'ici, nous proposons l'adoption d'une méthodologie didactique basée sur l'investigation par l'élève (García et García, 1992), méthodologie présupposée par le fait que la recherche n'est pas seulement la base de la construction de la connaissance scientifique par l'expert dans son activité professionnelle, mais qu'elle est aussi une forme naturelle d'étude des problèmes, que chacun peut

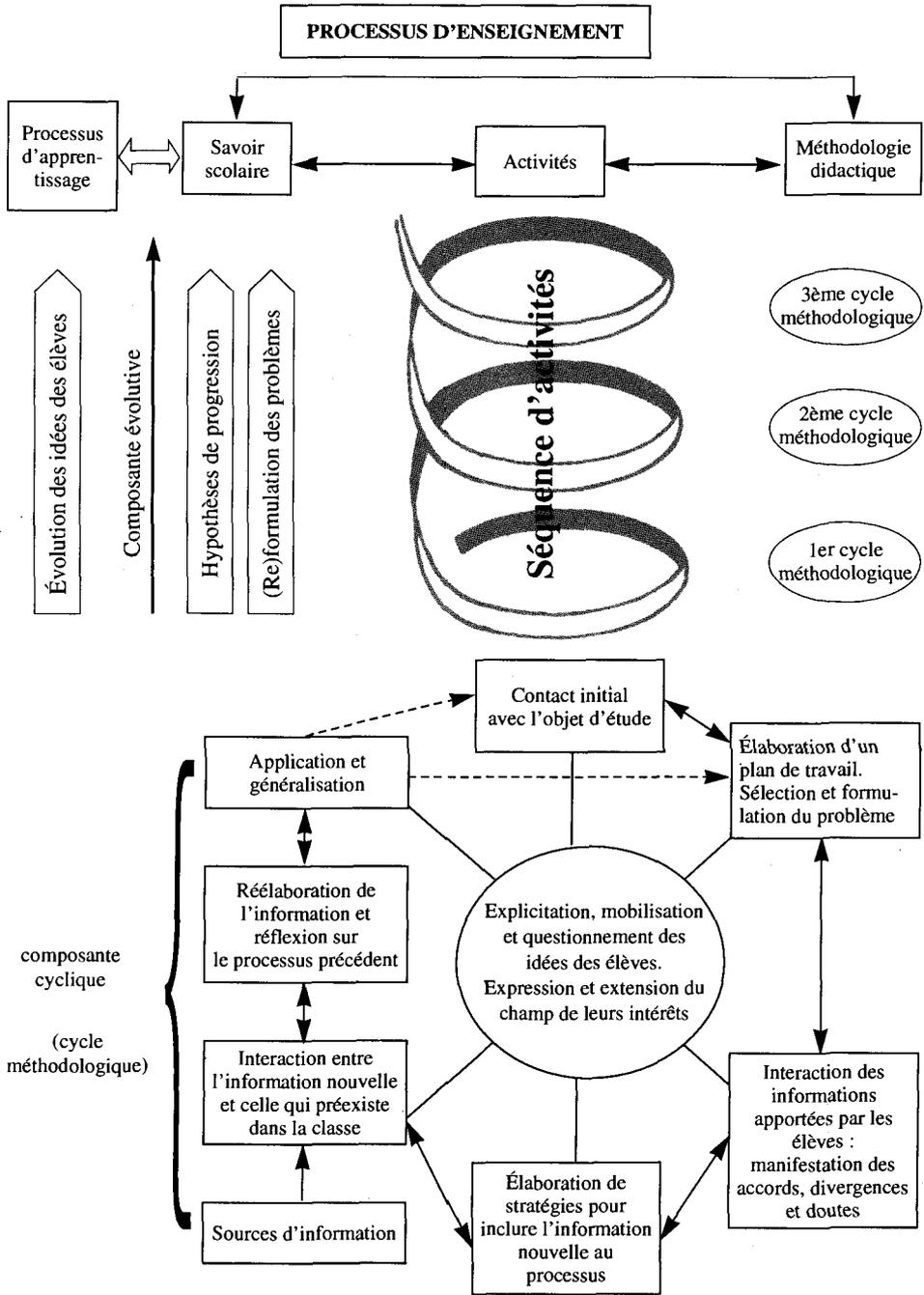


Figure 4 - Élaboration d'un déroulement curriculaire dans une perspective systémique et évolutive

employer (Porlán, 1993). Dans ce sens, l'évaluation est comprise comme régulation et réglage du processus d'enseignement-apprentissage.

L'élaboration du curriculum, dans cette vision systémique, peut être schématisée dans un modèle de synthèse où le processus d'enseignement est intégré dans celui de l'apprentissage, les aspects de contenu avec les aspects méthodologiques et avec l'évaluation. Ce modèle est repris dans la figure 4.

APPLICATION À L'ÉTUDE DES NOTIONS ÉCOLOGIQUES

Examinons un exemple pour concrétiser le modèle sur un cas précis : la notion d'écosystème. Dans d'autres publications (García, 1991 et 1992 ; García et Rivero, 1993 ; García, Rivero et Vaca, 1994) ont été traités quelques aspects relatifs aux conceptions des élèves, à la nature de la connaissance écologique et à l'élaboration des unités didactiques sur le sujet. C'est pourquoi nous nous limiterons ici à une illustration du modèle proposé.

À ce sujet, ont été élaborées des hypothèses concernant une progression possible de la construction du système d'idées autour de la notion d'écosystème, hypothèse qui reconnaît trois moments différents, correspondant à trois niveaux croissants de complexité dans la formulation de ce champ conceptuel. Nous présenterons ci-après les niveaux de formulation correspondant à quelques-unes de ces idées.

Diversité des relations écologiques

• Moment 1

Les relations entre les éléments du biotope ne sont pas mentionnées. Les relations biocénose-biotope ne sont pas envisagées, le biotope n'étant que l'endroit où se trouvent les êtres vivants (localisation spatiale). Lorsque les relations au sein de la biocénose sont mentionnées, on fait toujours allusion à des rapports interspécifiques très évidents et proches de l'élève, comme dans le cas de quelques relations trophiques. Les relations intraspécifiques, elles, ne sont pas reconnues.

• Moment 2

Les rapports entre biocénose et biotope sont envisagés. Ainsi, le biotope est conçu comme une ressource pour la défense face aux agressions d'autres êtres vivants (certains animaux se cachent entre les plantes pour éviter d'être mangés) ou comme une source de nourriture (les plantes se nourrissent du sol, les poissons prennent l'oxygène de l'eau). Une plus grande diversité de relations interspécifiques est aussi reconnue : des relations de protection entre des êtres vivants (les poissons se cachent dans les algues), des relations trophiques moins évidentes (les plantes donnent nourriture et oxygène aux animaux, les moustiques sucent le sang des personnes, des animaux mangent des herbes ou des graines), des relations de concurrence ; de même que des relations intraspécifiques évidentes, relatives aux relations entre individus à caractère reproductif, d'élevage, ou qui impliquent un certain degré d'association (groupes, bandes...), en rapport avec la localisation spatiale ou la protection.

- **Moment 3**

Les relations dans le biotope sont clairement mentionnées (l'eau de la mare s'évapore lorsque la température augmente, l'eau remue la terre et provoque l'érosion). En ce qui concerne les relations entre biocénose et biotope, on considère que les êtres vivants dépendent du biotope mais qu'ils peuvent aussi, dans une certaine mesure, le modifier (les plantes donnent de l'oxygène à l'eau, les arbres évitent l'érosion du sol, les animaux sont à l'origine d'apports organiques pour le sol). Parmi les relations au sein de la biocénose, sont mentionnées des relations plus complexes et moins évidentes (les décomposeurs se nourrissent des restes organiques provenant d'autres êtres vivants, certains animaux s'entraident dans la recherche de nourriture ou pour se défendre, etc.).

Causalité dans les relations écologiques

- **Moment 1**

Aucune allusion n'est faite à des relations de causalité, les éléments présents étant seulement décrits ou, en tout cas, des relations de dépendance ne sont établies qu'entre des éléments concrets, par rapport à des facteurs concrets (les animaux ont besoin de nourriture, les plantes ont besoin de terre et d'eau).

- **Moment 2**

Les relations écologiques sont toujours interprétées comme des relations dans un seul et unique sens (causalité linéaire) et de façon simple, de sorte que la variation d'un facteur ne soit en relation qu'avec celle d'un autre facteur. Cette causalité est habituellement associée à l'idée de configuration en chaîne. Ainsi, les prédateurs dépendent des proies pour leur survie (mais la population de proies ne "nécessite" pas celle des prédateurs pour régler sa croissance aux conditions du milieu, par exemple, à la quantité d'herbe existante dans le cas des herbivores), un bois existe parce que les conditions sont adéquates à cet endroit précis (et ce n'est pas le bois qui peut créer les conditions adéquates pour son existence).

- **Moment 3**

L'existence d'interactions et d'interdépendances des éléments en relation est clairement reconnue. Il est aussi possible de comprendre que l'interdépendance produise une rétro-alimentation, une causalité circulaire.

Complexité des chaînes, réseaux et cycles

- **Moment 1**

Les relations ne sont pas reconnues, ou tout au moins les configurations de relations binaires ne le sont pas.

- **Moment 2**

L'enchaînement de relations binaires est assumé avec plusieurs éléments connectés chacun avec deux autres. Il est possible de reconnaître aussi la connexion d'un élément à plusieurs autres (relations tertiaires ou quaternaires) bien que soit maintenue l'idée d'une organisation en chaîne.

- **Moment 3**

L'existence d'un réseau de relations est reconnue.

Organisation de l'écosystème

- **Moment 1**

On considère que l'écosystème a une organisation additive dans laquelle les éléments sont plus importants que les relations. Ainsi, ce qui caractérise l'écosystème c'est la présence d'éléments donnés et le fait qu'il existe un nombre suffisant d'individus pour chaque composante. Un écosystème donné fonctionne et reste stabilisé à condition qu'il possède des éléments déterminés et si certaines conditions sont réunies (que chaque espèce existe en nombre suffisant, qu'il ait suffisamment de nourriture et d'espace).

- **Moment 2**

Il est explicitement reconnu que ce sont les relations qui organisent l'environnement, mais on se réfère à des relations simples, possédant des configurations simples. Ainsi, un écosystème fonctionne de manière stable s'il possède une chaîne trophique où ne manque aucune composante (une mare est un petit écosystème où les animaux, les plantes et les éléments inertes sont coordonnés dans une chaîne alimentaire). La causalité est comprise comme linéaire et l'interdépendance entre les éléments composantes de l'écosystème n'est donc pas envisagée.

- **Moment 3**

L'organisation de l'écosystème est comprise comme une organisation en réseau, avec une interdépendance entre composantes, avec reconnaissance d'une dynamique de la matière et de l'énergie (cycles, flux) liée à l'existence du réseau de relations.

Cette hypothèse de progression relative à la connaissance écologique correspond à un programme d'activités organisées en trois cycles méthodologiques avec reformulations successives de la problématique de travail. La figure 5 présente une hypothèse curriculaire de synthèse avec les problèmes de la recherche, les activités et la progression possible des contenus.

Le premier cycle étudie des problèmes utiles pour que les élèves manifestent leurs idées à propos de la thématique écologique en rapport avec des questions pratiques et concrètes (ce qu'il faut faire pour construire des aquariums de sorte qu'ils fonctionnent de façon similaire à une mare, etc.).

Le deuxième cycle étudie des problèmes plus complexes liés à l'observation de ce qui se passe dans les aquariums-mares (quelles sont les relations écologiques qui apparaissent, quelles sont les conséquences de ces relations pour les éléments constituants, comment sont reliés les éléments au travers de ces relations, quel est le rôle des différents éléments, comment interviennent les relations écologiques sur les variations du nombre d'individus de chaque population, existe-t-il ou non une dépendance mutuelle entre les éléments en relation, que faut-il pour que les aquariums-mares soient stables dans le temps, quels sont les changements constatés ? etc.).

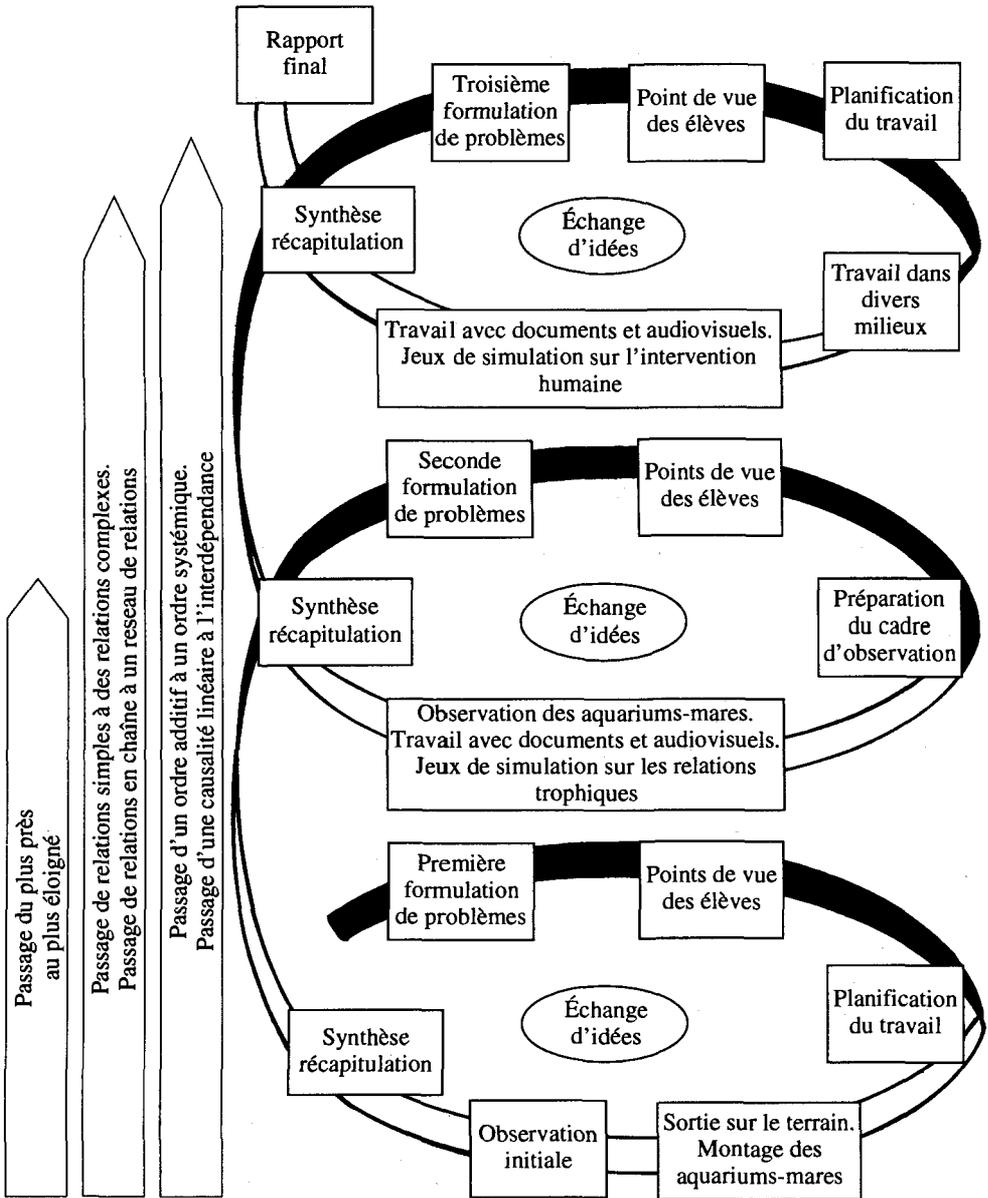


Figure 5 - Proposition curriculaire relative à la construction du concept d'écosystème

Le troisième cycle propose une généralisation par un travail sur d'autres écosystèmes et par la comparaison entre ce qui s'y passe et ce qui a été observé dans les aquariums-mares (problèmes globaux tels que les relations entre écosystèmes, façons de connecter les éléments d'un écosystème par les relations alimentaire, etc.).

J. Eduardo GARCÍA
 Département de Didactique des Sciences
 Université de Séville
 Espagne

La revue Aster remercie l'auteur et l'équipe de direction de la revue Investigación en la Escuela qui ont aimablement accordé l'autorisation de publication de cet article en français. La traduction a été assurée par Cristina Carballo, avec la collaboration de Jean-Pierre Astolfi.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GARCÍA, J.E. (1991). *El concepto de ecosistema. En Materiales del Area de Ciencias de la Naturaleza (módulo IV del Curso de actualización científica y didáctica)*. Madrid : MEC.

GARCÍA, J.E. (1992). "El estudio de los ecosistemas". *Cuadernos de Pedagogía*, 209, 18-21.

GARCÍA, J.E. ; CUBERO, R. (1993). "Perspectiva constructivista y materiales curriculares de Educación Ambiental". *Investigación en la Escuela*, 20, 9-22.

GARCÍA, J.E. ; GARCÍA, F.F. (1989). *Aprender investigando. Una propuesta metodológica basada en la investigación*. Sevilla : Díada.

GARCÍA, J.E. ; GARCÍA, F.F. (1992). "Investigando nuestro mundo". *Cuadernos de Pedagogía*, 209, 10-13.

GARCÍA, J.E. ; RIVERO, A. (1993). "La construcción de los conceptos de ecosistema e interacción ecológica : una propuesta de hipótesis de progresión para el tratamiento de contenidos ecológicos en la Educación Secundaria". *Enseñanza de la Ciencias*, número extra, 167-168.

GARCÍA, J.E. ; RIVERO, A. ; VACA, M. (1994). "Concepciones de los alumnos de Secundaria relativas a las nociones de interacción ecológica y ecosistema". En *Actas del II Congreso Andaluz de Educación Ambiental*. Sevilla : Junta de Andalucía.

GRUPO INVESTIGACIÓN EN LA ESCUELA (1991). *Proyecto Curricular IRES (Investigación y Renovación Escolar)*. (Version provisoire). Introduction et quatre volumes. Sevilla : Díada.

GRUPO INVESTIGACIÓN EN LA ESCUELA (1991). "Un proyecto de investigación y renovación escolar". *Cuadernos de Pedagogía*, 194, 34-38.

PORLÁN, R. (1993). *Constructivismo y escuela. Hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación*. Sevilla : Díada.

ÉDUCATION SCIENTIFIQUE ET ACTION : LES RELATIONS ENTRE LES SCIENCES ENSEIGNÉES À L'ÉCOLE ET LA PRATIQUE

Science Education and Praxis : the Relationship of School Science
to Practical Action, *Studies in Science Education*, 19 (1991) 43-79,
University of Leeds

David Layton

En s'appuyant sur les recherches récentes en histoire et en sociologie des techniques, l'article explore la nature des relations entre les sciences, telles qu'elles sont enseignées et apprises à l'école, et l'action pratique dans le monde fabriqué - l'application des sciences à des fins pratiques n'étant pas sans poser problème. Il défend l'idée qu'il y a lieu de considérer le savoir technologique comme une espèce épistémologique distincte, et des rapprochements sont proposés avec des travaux portant sur la compréhension des sciences par le grand public, où il apparaît clairement que la "pensée naturelle" et la "cognition en pratique" sont nettement plus complexes et moins bien comprises que la pensée scientifique. Les implications de cette argumentation pour les représentations de la science dans l'éducation, les styles de pédagogie adoptés par les enseignants, les caractéristiques des structures institutionnelles et la recherche sont examinées en référence tout particulièrement à l'interface entre éducation scientifique et éducation technologique.

Avant-propos

La traduction de ce texte a soulevé quelques difficultés qui ne sont pas uniquement d'ordre terminologique mais relèvent de ce que, d'une culture à l'autre, les cadres conceptuels pour penser la réalité technique ne se recouvrent pas, malgré l'apparente proximité du langage. Dans la tradition française, le terme "technologie" désigne "la science des techniques", c'est-à-dire, un discours savant (un *logos*) sur les techniques. On pourrait, dans la perspective de Sigaut (1), distinguer deux formes principales de ce discours:

- le discours rationnel, mathématiquement et scientifiquement armé, élaboré au sein de chaque génie (génie mécanique, génie logiciel, génie des organisations, etc...), qui rend compte des phénomènes relatifs aux êtres techniques spécifiques de ce génie dans la perspective d'optimiser leurs fonctionnalités. Le génie mécanique, par exemple, élabore, à destination des ingénieurs, techniciens et ouvriers des industries mécaniques, une technologie de la construction mécanique qui fournit des concepts, des normes et des prescriptions pour concevoir, fabriquer et mettre en oeuvre des artefacts (objets, procédés, systèmes,...) mécaniques.
- un discours à visée descriptive, cherchant à identifier, décrire, localiser et comparer les techniques (p. ex., Diderot), et à visée théorique, tendant à une formali-

sation unifiée, systématique et générale de celles-ci (p. ex., Simondon). Il s'agit ici d'élaborer un savoir sur les êtres techniques eux-mêmes, et pour eux-mêmes, "en tant que phénomènes et non plus seulement pour les phénomènes dont ils sont le siège" (2). Cette technologie, Sigaut la caractérise comme étant scientifique, au sens où elle vise la connaissance. Elle se distingue ainsi de la précédente, celle des ingénieurs, qui a pour projet l'action.

Dans son sens anglo-américain, le mot "*technology*" désigne, non plus une science, mais un champ d'activités et d'objets qui relèvent du processus humain de transformation à visée adaptative du milieu. Ainsi, pour White (3), le terme renvoie à "la modification systématique de l'environnement pour des objectifs humains". Pour Frey (4), c'est "une activité humaine concernée par la fabrication et l'usage d'artefacts matériels", ceux-ci étant entendus au sens de "réalisations concrètes d'une pratique structurée et finalisée".

Cette définition repose sur un découpage de l'activité humaine en un ensemble de champs de pratiques et d'objets, plus ou moins varié et cloisonné selon l'état de différenciation sociale et culturelle des pratiques. On peut, par exemple, distinguer des pratiques esthétiques, religieuses, scientifiques, etc. La *technology* peut constituer, comme chacun de ces champs, un objet d'étude scientifique. Il s'agit alors de déterminer les propriétés distinctives de ce champ, de ses acteurs, de ses objets (y compris conceptuels), de leur genèse et évolution, etc. Les historiens et sociologues anglo-américains ont beaucoup œuvré dans ce domaine. Dans cet article, Layton se réfère amplement à leurs travaux pour caractériser comparativement la nature et la dynamique des savoirs dans le champ de la science et dans celui de la *technology*.

La difficulté pour le traducteur provient donc de ce qu'il ne peut pas traduire "*technology*" qui désigne un champ, par "technologie" qui désigne une science. En effet, s'il existe bien à l'école, tant au Royaume-Uni qu'aux Etats-Unis, une discipline *technology* qui correspond à notre technologie scolaire, il n'y a, en revanche, pas d'équivalent à notre technologie savante si ce n'est le discours des différents génies, qu'on désigne alors par "*engineering science*".

Traduire "*technology*" par "technologie" conduirait donc à masquer des différences paradigmatiques - et, de ce fait, intéressantes, notamment du point de vue de la didactique - entre les traditions françaises et anglo-américaines d'approche scientifique des techniques. Il nous a paru donc plus légitime de traduire "*technology*" par "la technique". Ce mot peut le mieux, en effet, désigner génériquement cette "sphère relativement autonome de la réalité" à laquelle le philosophe J. P. Sérés (5) a consacré un ouvrage récent. Dans la mesure où, dans sa conception, il donne également un sens à l'opposition entre "la technique", "l'art" et "la science" comme "activités humaines aux destins plus ou moins antithétiques, aux valeurs tranchées" mais qui se partagent en commun "le travail humain", cette acception nous a paru assez homogène avec le sens donné à "*technology*".

Nous aurions dû, dans cette optique, traduire "*technological knowledge*" par "connaissance technique", mais alors, comment rendre le sens de "*technical*" dans "*technical skills*" ? Il s'agit ici pour Layton, suivant Staudenmaier, de caractériser la nature et le régime du savoir tel qu'il existe dans "la sphère de la technique" (*technological knowledge*) et donc de distinguer celui-ci du savoir et des compétences mis en œuvre dans une technique particulière (*technical know-*

ledge ou *technical skill*). De manière qui ne nous satisfait pas entièrement mais qui préserve cette distinction, nous avons convenu de les désigner respectivement par les termes "savoir technologique", d'une part, et "savoir technique" ou "compétence technique", d'autre part.

Pierre Verillon
Unité "Processus cognitifs et didactique des
enseignements technologiques", INRP, Paris

- (1) SIGAUT F. (1991). Les points de vue constitutifs d'une science des techniques, essai de tableau comparatif. In PERRIN J. (Ed.), *Construire une science des techniques* (pp. 381-397). Limonest: L'interdisciplinaire.
- (2) LAFFITE, cité par SIGAUT, op. cit.
- (3) WHITE, cité par STAUDENMAIER J. (1985). *Technology's storytellers*. Cambridge: MIT Press.
- (4) FREY R.E. (1991). Another look at technology and science. *Journal of Technology Education*, 3 (1), pp. 16-29.
- (5) SERIS J. P. (1994). *La technique*. Paris: PUF.

"La compréhension passe par la connaissance du fonctionnement des choses et de la manière dont on les réalise. La compréhension, de par sa nature même, est liée à l'action, tout comme l'information, de par sa nature même, est isolée de l'action." John Dewey, 1946, p. 49.

"C'est le caractère explicite du savoir codifié qui est à la fois sa force et sa limite par rapport à l'action. Sa force réside dans le fait qu'il peut s'apprendre et qu'il est identifiable en tant qu'objet culturel, qu'il contraint à la réflexion et à l'organisation. Sa faiblesse est que ce savoir explicite doit être approché dans ses propres termes, de sorte qu'il y a toujours un écart entre lui et les problèmes d'action qui doivent être résolus." Burkart Holzner et John H. Marx, 1979, p. 252.

"L'information qui est produite dans un système existe sous une forme codée particulière, à la fois reconnaissable et utile aux acteurs du système. Si cette information doit être transférée d'un système à un autre (disons de la science à la technologie...) elle doit être traduite dans un code différent, convertie sous une forme compréhensible dans un monde où les valeurs sont différentes." Hugh G.J. Aitken, 1985, pp. 18-19.

INTRODUCTION

Les trois citations ci-dessus évoquent certains aspects du problème général auquel cet article est consacré, c'est-à-dire celui de la nature des rapports qu'entretient ce qui est enseigné et appris dans les cours de sciences à l'école avec l'action pratique dans le monde fabriqué. Nous examinerons de près la notion d'application des connaissances, dans le sens auquel renvoie souvent le terme de "science appliquée". Nous défendrons un point de vue en faveur d'un emploi modéré - sinon de l'abandon pur et simple - de ce concept d'application des connaissances, du fait que son côté abstrait dissimule et néglige une partie

trop importante de la complexité des processus en jeu. On s'intéressera à quelques questions associées telles que celles de la relation entre science et technique, de la nature du savoir technologique qui étaye le "savoir-faire" technique et, plus généralement, celle des savoirs pratiques. Pour explorer les relations entre formation scientifique et *praxis*, il est nécessaire de faire appel à des données provenant de diverses sources. Dans ce qui suit, ces données incluent des éclairages issus de l'histoire, de la philosophie et de la sociologie des sciences et de la technique, ainsi que de la recherche sur la compréhension des sciences par le grand public et des éléments provenant des études psychologiques relatives à la "cognition en action" et la construction du "savoir situé". La tâche est énorme et cet essai ne constitue qu'une première exploration du domaine. Mais, d'abord, comme dirait le guide Michelin, "un peu d'histoire"*.

LA SÉPARATION DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES

Pour Léonard de Vinci, comme pour tous les autres ingénieurs de la Renaissance (Gille, 1964) et pour Francis Bacon, un peu plus tard, la connaissance du monde naturel apparaissait comme le moyen par lequel les hommes contrôlèrent et soumettraient à leur volonté les forces de la nature. Selon l'aphorisme de Bacon, "les connaissances de l'homme et le pouvoir de l'homme sont un" (Bacon, 1905, p. 259). En réalité, pour celui-ci, la garantie de la vérité des connaissances était à la mesure de leur utilisation possible pour soulager la condition de l'homme. "Car les fruits et les travaux sont pour ainsi dire des preuves et des garants de la vérité des philosophies", déclara-t-il (Bacon, 1905, p. 276) et "la vérité et l'utilité sont ici exactement la même chose".

Bien qu'une récente étude interprétative de Bacon et de "la tradition du savoir créateur" (Pérez-Ramos, 1988) remette en question le fait que certaines de ses conceptions-clés telles que "le contrôle de la nature", aient eu le même sens pour lui que pour nous aujourd'hui, nous disposons de nombreux documents attestant du lien étroit existant à la Renaissance entre cognition et action pratique. Gernot Böhme et ses collègues du Max-Planck Institut de Starnberg citent Léonard pour corroborer l'idée dominante à l'époque selon laquelle le but d'une connaissance de la nature n'était pas seulement de l'ordre de la connaissance factuelle, mais aussi de la construction "arte-factuelle" fondée sur les règles délimitant le domaine du monde naturel. "Si vous me demandiez : que permettent vos règles et quelle est leur utilité ?, je vous répondrais qu'elles empêchent les inventeurs et les chercheurs de se promettre à eux-mêmes, et de promettre à d'autres, des choses qui sont impossibles", écrit Léonard (Böhme et al., 1978, p. 223). Avec ces expérimentateurs et entrepreneurs qui partageaient une telle conception de l'association intime entre le savoir et le faire, Léonard et Bacon ont cru en l'avènement de ce que nous appellerions aujourd'hui une révolution simultanée et unifiée de la science et de la technique.

Celle-ci n'a pas eu lieu. La science et la technique ont connu des processus de développement dont les voies, bien que reliées entre elles, sont restées séparées. La révolution industrielle se déroula, en Grande-Bretagne, un siècle après la révolution scientifique et, à l'exception peut-être de l'industrie chimique, ses origines doivent peu au savoir scientifique (Russell, 1983, p. 99). C'est un état de différenciation cognitive et institutionnelle qui a caractérisé les rapports entre la science et la technique dans la période qui succéda au principat de Newton.

* En français dans le texte.

Dans le domaine cognitif, la transformation de la mécanique terrestre et céleste introduite par Galilée et Newton a impliqué ce que Edwin Layton Jr. (1990) a appelé *“une idéalisation héroïque de la réalité”*, la création d'un *“monde fantôme”* de points qui n'occupaient pas d'espace, de corps matériels ne se déparant pas de leurs parfaites rigidité et sphéricité, et pour lesquels le mouvement linéaire par inertie (ou le repos) était la norme, de milieux liquides nullement troublés par l'agitation et les remous, et d'un espace qui était homogène et isotrope. Dans ce monde d'abstraction, il ne se manifestait aucune intrusion de ces effets d'échelle qui déconcertaient tant les ingénieurs et auxquels s'était autrefois heurté Galilée (par exemple, pourquoi les grandes machines, bien que construites dans les mêmes proportions géométriques que des machines plus petites et efficaces du point de vue opérationnel, constituaient-elles souvent des échecs). Les mêmes lois de la mécanique décrivaient des événements, qu'ils se situent à l'échelle terrestre ou à l'échelle céleste.

Une caractéristique notable de cette transformation incontestablement puissante a été qu'elle mit en évidence un nouvel objectif pour la recherche. Bien que les savants commençaient souvent leurs recherches à partir d'un point d'intérêt technologique (par exemple, l'observation par des ingénieurs des mines au seizième siècle que des *“pompes aspirantes”* ne pouvaient pas amener l'eau à une hauteur supérieure à neuf mètres environ), leur but n'était pas d'améliorer la performance de l'objet technique, mais d'accéder à ses principes afin d'aboutir à une théorie générale (par exemple, le travail ultérieur des élèves de Galilée, Torticelli et Viviani, qui avec celui de Pascal, conduisirent à une théorie générale de la pneumatique). Comme Peter Weingart (1978, p. 265) l'a exprimé, *“le point essentiel réside dans ce que la recherche des causes dépasse les artefacts humains et conduit aux principes sous-jacents de la nature”*. On peut donc dire que la science et la technique se sont différenciées non pas en raison de procédures opératives, ni même de cadres conceptuels distincts, mais principalement par les buts qu'elles poursuivaient. Pour reprendre les termes d'un éminent historien américain de la technique, les divisions qui les séparèrent étaient devenues des divisions *“entre des communautés qui respectivement valorisent le savoir et le faire”* (Layton, 1977, p. 209).

Bien sûr, des interactions entre les deux communautés ont existé à des degrés divers. Les techniques de l'instrumentation (horloges, thermomètres, voltmètres, ampèremètres et autres appareils de ce type) ont permis une plus grande précision et la standardisation des données scientifiques. D'autres artefacts techniques tels que les télescopes, les microscopes, les pompes à vide et les cellules électriques ont élargi le champ de l'expérience sensible et contribué à la reproductibilité fiable des phénomènes. En retour, la théorisation scientifique générale était mise au service de procédés et de problèmes techniques, bien qu'elle n'obtienne pas toujours le succès que ses adeptes escomptaient. Les ingénieurs furent prompts à signaler les différences entre, par exemple, la mécanique scientifique de Galilée et de Newton et la mécanique technique nécessaire pour assurer le fonctionnement effectif de vraies machines dans des situations pratiques. Au début du dix-huitième siècle, Antoine Parent utilisa le calcul infinitésimal, disponible depuis peu, et des raisonnements compatibles avec la mécanique de Newton pour montrer que la puissance utile maximale d'une roue à aubes à courant était égale à $4/27$ ème seulement de la puissance naturelle du courant. Plus tard, au cours de ce même siècle, sur la base de ses propres connaissances pratiques en matière de conception, de construction et de réparation de roues hydrauliques, John Smeaton mit en doute cette conclusion.

Par une expérimentation systématique et quantitative avec un modèle de roue mesurant 61 cm, en utilisant des charges allant de zéro jusqu'à la limite de la roue, Smeaton a démontré que le rapport maximum était proche de 1/3 pour une roue à aubes à courant et était multiplié par deux pour une roue à chute (Cardwell, 1972, p. 79). Dans le même esprit, Frédéric le Grand écrivit à Voltaire en 1778 à propos des mérites respectifs de la "théorie" et de la "pratique":

"Les Anglais ont construit des bateaux avec des sections les plus avantageuses d'après Newton, mais leurs amiraux m'ont assuré que ces bateaux ne naviguent pas du tout aussi bien que ceux qui ont été construits selon les règles de l'expérience. Je voulais faire une fontaine dans mon jardin. Euler a calculé la puissance des roues qui auraient dû amener l'eau dans le réservoir, à partir duquel elle devait se répandre de nouveau dans les canaux et ensuite jaillir dans les fontaines à Sans Souci. Mon dispositif pour faire monter l'eau fut réalisé d'après des calculs mathématiques mais ne put jamais amener une seule goutte d'eau à cinquante pas du réservoir. Vanité des vanités ! Vanité des mathématiques !" (Klemm, 1959, p. 262).

Dans une large mesure, les communautés de savants et de praticiens sont restées distinctes sur le plan institutionnel tout au long du dix-huitième siècle. Les savoirs des uns étaient transmis en termes de théories codifiées et manipulées au moyen de symboles abstraits. De l'autre côté, les savoirs étaient transmis par l'intermédiaire de la démonstration personnelle et par l'émulation. En fait, les débats relatifs aux inconsistances entre "la théorie" et "la pratique" devaient durer pendant une grande partie du dix-neuvième siècle (par exemple Hunt, 1983 ; Bud et Roberts, 1984 ; Kline, 1987). En la personne de Smeaton, cependant, nous pouvons voir le prototype d'un "homme nouveau", l'ingénieur professionnel, capable d'assurer la médiation entre, d'un côté, la science et, de l'autre, le mécanicien au travail. En plus de ses études sur les roues hydrauliques, sa méthode d'expérimentation systématique qui, sur une période de quatre ans, donna lieu à plus de cent-trente expériences, le conduisit à améliorer remarquablement l'efficacité de la machine à vapeur de Newcomen.

"Son procédé consistait à régler la machine de façon à ce qu'elle marche bien, et ensuite, après avoir observé attentivement son fonctionnement dans cet état, à modifier un des détails, en quantité et en proportion, après quoi l'efficacité de la machine était testée avec ce changement ; tous les autres détails, à l'exception de celui-ci qui faisait l'objet de l'expérience, restaient inchangés dans la mesure du possible." (John Farey) (1)

Smeaton était un partisan appliqué et totalement novateur de la méthode des améliorations progressives et incrémentielles apportées aux objets techniques fabriqués existants. Par analogie avec la caractérisation de la science par Kuhn en termes de "normale" et "révolutionnaire", le travail de Smeaton peut être décrit comme relevant de la "technologie normale" (Kuhn, 1962). Cependant, l'investigation systématique ne suffisait pas, il fallait aller au-delà de l'optimisation des paramètres pour permettre de radicales innovations dans la conception et la réalisation.

(1) Cité par Cardwell, 1972a, p. 83.

LA SCIENTIFISATION DE LA TECHNIQUE

Au début du dix-neuvième siècle, dans son *Discours Préliminaire sur l'Etude de la Philosophie Naturelle*, J.F.W. Herschel donna une indication des conditions nécessaires au progrès de la technique. Les arts pratiques restaient, d'après lui, "séparés de... la science par un large fossé qui ne peut être franchi que par une impulsion vigoureuse. Ils créent leur langage et leurs propres conventions, que seuls les spécialistes de cet art peuvent comprendre. La tendance générale de l'art empirique est de se perdre dans des détails techniques et sa fierté repose sur des astuces particulières et des mystères connus des seuls adeptes..." Par opposition au savoir privé, fréquemment implicite et spécifique à chaque objet fabriqué, qui est associé à une grande partie de la pratique technique, la science se présente comme s'exposant à plaisir aux investigations et faisant du chemin menant à ses conclusions "un boulevard". En ce qui concerne les objets techniques, l'objectif collectiviste de la science était "d'écarter tout mystère, d'illuminer toute zone d'ombre, et d'obtenir le libre accès à tous les procédés afin de les améliorer à partir de principes rationnels" (Herschel, 1830, pp. 71-72).

C'est William Whewell qui donna son adhésion à ce point de vue quand il prit la parole, à Cambridge en 1833, lors de la troisième réunion annuelle de l'Association Britannique pour l'Avancement de la Science. Le contexte était celui d'un débat en cours, à savoir dans quelle mesure l'invention et le progrès technique dans les arts mécaniques et chimiques devraient avoir leur place dans les programmes du nouvel organisme. Finalement, une section supplémentaire, G, pour les sciences mécaniques fut créée en 1836, mais pas avant que ne se soit auparavant installée une idéologie proclamant la supériorité de "la science, de la connaissance et de la théorie" sur "la pratique". "L'art a toujours été la mère de la science", admit Whewell, mais la science était "une fille à la beauté incomparablement plus sereine et noble" (Whewell, 1834, pp. XXV).

Dans sa première et discutable proposition considérant la technique comme la principale génitrice de la science, les "hommes de la pratique" se voyaient offrir compensation par Whewell pour leur rôle subalterne dans le rapport science - technique. De plus, la perspective d'une évolution vers les sciences mécaniques leur offrait la possibilité de valoriser leur activité à travers l'association à la théorie générale et au symbolisme abstrait. La base d'un futur contrat social, liant la science, "pendant une succession d'œufs en or, et... la société payant pour comprendre comment la nature fonctionne afin d'exploiter les potentialités de la nature", était sous-entendue dans la relation (Keller, 1984, p. 160). Les ressources de la théorie scientifique pouvaient fournir des connaissances, des principes et des idées que l'on aurait eu peu de chance d'obtenir par le développement continu, par approximations successives, à la Smeaton, d'un dispositif technique. Leur accès ouvrait des possibilités nouvelles de conception et de réalisation, d'où la perspective d'une évolution technique "révolutionnaire" par opposition au changement technique "normal". La théorie était investie du rôle d'"heuristique de l'invention" (Böhme et al., 1978, p. 236). Bien qu'elle soit loin d'être la seule source de nouveauté et de discontinuité dans la genèse d'artefacts, la science était considérée comme ayant un potentiel incomparable, au point d'encourager une conception de la technique réduite au statut de "science appliquée". A la limite, la "science pure" autonome était considérée moins comme une ressource pour le développement technique qu'un moteur impulsant les changements dans ce champ. Comme Lyon Playfair l'a exprimé au cours d'une conférence après l'Exposition Universelle de 1851, "les cultivateurs de la science abstraite, les chercheurs de vérité pour l'amour de la vérité sont... les «chevaux» du char de l'industrie" (Cardwell, 1972b, p. 81).

Une telle opinion, étayée par des exemples tels que le télégraphe électrique et l'industrie de la teinture synthétique, devint largement partagée, notamment dans le milieu de l'enseignement. Lorsqu'en 1857, dans son discours présidentiel devant la *Chemical Society*, le Professeur W.A. Miller, du *King's College* à Londres, salua la découverte du mauve par Perkins, comme étant "*une application réussie de la science abstraite à une finalité pratique d'importance*", il ne faisait qu'illustrer un thème déjà bien rôdé (Miller, 1857, p. 187). Bien sûr, son affirmation n'était pas tout à fait correcte, puisque la découverte de Perkins avait été accidentelle. Fait plus important et tout à fait caractéristique, rien n'indiquait que l'acte d'application puisse être autre chose qu'un processus routinier et sans problème. En réalité, la tâche qui consistait, avec ses aspects organisationnels et ses risques, à passer d'une expérience faite sur la pailleasse d'un laboratoire à la première synthèse industrielle d'un produit dont la qualité et le prix devaient lui permettre d'accéder à un marché important, souleva des difficultés énormes, non seulement scientifiques et techniques mais aussi d'ordre économique, environnemental et juridique (Travis, 1990).

Les systèmes de médiatisation éducative que sont les programmes scolaires, la pédagogie et l'évaluation furent de plus en plus mobilisés pendant la deuxième moitié du dix-neuvième siècle pour définir et promouvoir "la science pure" comme une catégorie dominante, dégagée des contextes pratiques. Les processus sociaux par lesquels elle acquit une hégémonie dans les institutions éducatives ont été décrits ailleurs (Layton, 1973, 1975 et 1981 ; Bud et Roberts, 1984) et nous ne nous y attarderons pas davantage. Le point important est que, le temps que les influences économiques et industrielles, ainsi que la professionnalisation des ingénieurs, conduisent à introduire la technologie dans les programmes des universités britanniques, "la théorie abstraite" avait réussi à s'y imposer et à y conquérir un statut élevé alors même que "la pratique" était considérée comme avilissante et manquant de prestige.

Une telle situation posa de sévères problèmes à ceux qui étaient nommés à des chaires d'ingénierie en université. Si leur programme universitaire mettait "la théorie" en valeur, cela pouvait être considéré comme une incursion fâcheuse sur le territoire de départements scientifiques déjà existants; si leur penchant allait vers "la pratique", le danger était qu'ils empiètent sur les systèmes d'apprentissage répandus à l'époque. La solution définie par W.J.M. Rankine, professeur titulaire d'une chaire d'ingénierie civile et mécanique à Glasgow, de 1855 à 1872, fut de dépasser les catégories traditionnelles de "théorie" et "pratique" en se centrant plutôt sur le problème de la nature de leur interaction. Réduire celle-ci à un processus l'application de la science revenait, selon Rankine, à présenter les choses sous un faux jour, sauf à considérer que ce processus entraîne un remaniement actif et créatif de la science. Pour lui, "*l'application de ces principes [scientifiques] à la pratique est, en soi, un art*" (Rankine, 1857, p. 13).

Comme la science et la technique avaient évolué avec leur propre cadre conceptuel, les découvertes en matière de science ne pouvaient pas toujours trouver aisément des applications en technologie. La "scientification" de la technologie par Rankine et quelques autres, tels que Osborne Reynolds à Manchester et Fleeming Jenkin à Edimbourg, a consisté à élaborer de nouvelles connaissances qui ont fonctionné comme un intermédiaire entre science abstraite et action pratique. De cette façon, un problème de micropolitique universitaire de conception de programmes fut résolu; en même temps, "les génies" acquirent un caractère distinctif et autonome.

LE SAVOIR TECHNOLOGIQUE

En faisant appel à la recherche en histoire, philosophie et sociologie de la technique, pour expliquer davantage la nature de la technologie, on remarque que l'essentiel de ce travail est récent. La *Society for the History of Technology* a été fondée en 1958 et son journal *Technology and Culture*, prééminemment dans le domaine, est publié depuis 1959. Une Bibliographie de la Philosophie de la Technique, tout à fait originale, par Carl Mitcham et Robert Mackay, a d'abord paru sous la forme d'un numéro spécial de *Technology and Culture* en 1975 et le premier volume de *Research in Philosophy and Technology*, publication officielle de la *Society for Philosophy and Technology* est paru en 1978. Un compte-rendu plus détaillé du développement de la philosophie de la technique est fourni par Durbin (1989). Bien que des contributions de pays européens (à l'exception de la Grande-Bretagne) à l'histoire et à la philosophie de la technique aient préexisté aux travaux, principalement américains, évoqués ci-dessus, tout montre que, d'une manière générale, l'intérêt des institutions savantes relatif à la nature de la technologie est un phénomène qui date de la seconde moitié du vingtième siècle. Par ailleurs, la comparaison avec l'intérêt porté par les institutions savantes à la nature de la science dans la première partie de ce siècle est instructive. *Isis*, le journal le plus important d'histoire des sciences a commencé à paraître en 1912. Le premier département d'histoire et de philosophie des sciences dans une université britannique a été fondé à *University College* à Londres en 1923. La *Logik der Forschung*, œuvre initiale de Karl Popper, a été publiée à Vienne en 1934 et plusieurs journaux tels que *Annals of Science*, *Ambix* et *Notes and Records of the Royal Society* datent également du milieu des années trente. L'ouvrage influent (surtout sur l'enseignement des sciences) de J.B. Conant, *On understanding Science, An historical approach*, a été écrit en 1946. On peut émettre l'hypothèse raisonnable que, tout comme la compréhension savante de la nature de la science a été utilisée pour influencer les objectifs et la pratique de l'enseignement des sciences (Layton, 1990a), de la même manière, les résultats de la recherche sur la nature de la technique auront un impact, au niveau des programmes scolaires, sur l'enseignement de la technologie.

Mentionnons à ce propos les relations entre la science et la technologie. Peu de chercheurs, si tant est qu'il y en ait, souscriraient au modèle hiérarchique de dépendance qui présente la technique comme ancillaire et impliquant simplement l'application routinière et servile des connaissances et savoirs-faire scientifiques. Ce point de vue est insoutenable au vu des approches historiques précises d'innovations techniques spécifiques qui ont été réalisées dans divers domaines. Contentons-nous de citer quelques exemples de ce vaste champ tels que le compte-rendu d'Edward Constant (1980) sur les origines de la révolution du turboréacteur, l'ouvrage, qui a été primé, de Thomas Hughes *Networks of Power : Electrification in Western Society* (1983), la description de "l'analyse de l'utilisation du contrôle de la puissance" chez les ingénieurs pour illustrer "une différence de pensée en ingénierie et en physique" faite par Walter Wincenti (1982), la recherche sur les origines de la radio effectuée par Hugh Aitken (1985) et l'étude par Ronald Kline sur le développement du moteur à induction (1987). Par rapport à la science, la technique n'est plus considérée comme lui étant subordonnée ; la relation est caractérisée par l'égalité, la symbiose et l'interaction.

Une présentation élégante de cette thèse a été donnée par Edwin Layton (1987) dans son discours présidentiel devant la Société pour l'Histoire de la Technique,

intitulé "A travers le miroir ou des nouvelles de l'image inversée dans le reflet du lac". Le titre sous-entend que la science et la technique renvoient des images inversées jumelles, souvent indifférenciables à première vue, surtout de nos jours où elles ont recours au même type d'équipement et font en apparence des choses similaires. Cependant, de par leur nature même, leurs buts sont différents; toutes les deux créent du savoir, mais "le savoir technologique est conditionné pour servir les besoins de la conception. Le savoir, dans les sciences fondamentales, est façonné par le désir de construire la théorie la plus générale et complète" (p. 605).

John M. Staudenmaier a approfondi cette thèse à travers une remarquable analyse historiographique du langage, de la méthodologie et de la thématique des articles publiés dans *Technology and Culture* entre 1959 et 1980. Les relations entre science et technique avaient été le thème de deux numéros spéciaux de *Technology and Culture* en 1961 et 1976, et d'autres articles avaient également abordé ce sujet. Staudenmaier attira l'attention sur une conclusion importante qui semblait surgir de l'analyse de cette recherche. Un consensus croissant "sur l'inexistence de critères pratiques utilisables pour établir des distinctions claires et nettes entre la science et la technique" (Mayr, 1976, p. 668) et sur le fait que "les catégories d'analyse «science» et «technique» ne sont pas des catégories qui éclairent notre compréhension de ces activités" (Thackray, 1976, p. 645) ont conduit à l'émergence d'un thème davantage porteur, celui des "caractéristiques du savoir technologique" (Staudenmaier, 1985, p. 85).

Le savoir technologique doit être compris ici comme un savoir "structuré par une tension entre les exigences d'une conception [design] fonctionnelle et les contraintes spécifiques de son contexte". Les concepts issus du processus de conception [design concepts] ne peuvent pas rester au niveau abstrait, mais "doivent sans arrêt être réélaborés en fonction de contraintes liées aux matériaux disponibles qui sont elles-mêmes déterminées par des questions de coûts, de temps, de compétence de la main d'œuvre" (p. 104). L'intégration du "caractère universel et abstrait d'un tel concept avec les contraintes nécessairement spécifiques de chaque contexte dans lequel il opère" sembleraient constituer le principal problème cognitif du savoir technologique (p. 111).

Staudenmaier identifie quatre formes caractéristiques du savoir technologique d'après sa revue d'articles de *Technology and Culture*. Il distingue les "concepts scientifiques", les "données problématiques", la "théorie des différents génies", et "la compétence technique" (pp. 103-120). A propos des concepts scientifiques, deux points sont très importants pour l'enseignement des sciences. Dans leurs investigations portant sur le rôle de la science dans les développements techniques, de nombreux auteurs ont montré que "les concepts scientifiques, avant de pouvoir contribuer au savoir technologique, doivent faire l'objet d'une restructuration et d'une appropriation aux exigences spécifiques du problème de conception considéré" (p. 104). Ils ne gardent pas leur forme originale. De plus, du point de vue du savoir technologique, conçu comme singulier et non réductible, le rôle intellectuel de la science dans la relation science-technique n'est plus celui du partenaire supérieur. Au contraire, on pourrait défendre que "la science pure n'est que la servante de la technique, une femme de chambre au service du progrès technique" (Skolimowski, 1966, p. 373).

"Les données problématiques", la deuxième caractéristique, font référence à ces zones d'ignorance auxquelles les techniciens sont souvent confrontés. Comme Rankine l'affirmait, il est rarement possible d'attendre le progrès des sciences; une action immédiate est attendue de la part du technicien, et si les données existantes ne permettent pas d'apporter une solution exacte à un problème,

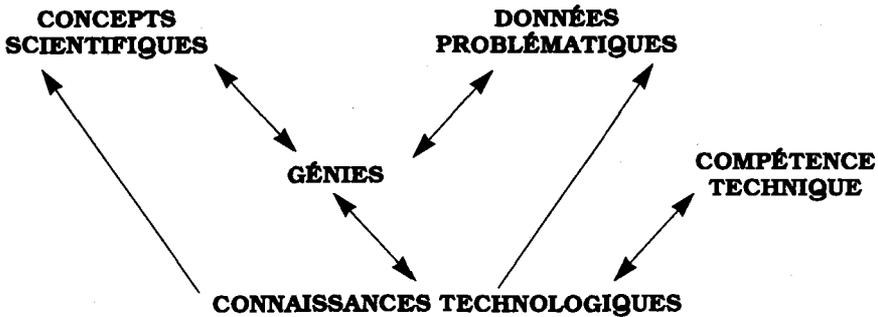
alors on utilise la meilleure approximation. *"Un jugement rapide et fiable manifesté dans de tels cas est une des caractéristiques du praticien"* (Rankine, 1872, p. 10). La quête de données incertaines peut s'avérer nécessaire dans une variété de contextes tels que le développement d'une nouvelle technique, l'échec catastrophique d'une technique établie et les activités d'instances de régulation, de santé et de sécurité. L'étude de Brian Wynne sur les événements fortuits dans le domaine de la technique, subtilement intitulée *"la technique indisciplinée"*, vient étayer la conclusion de Staudenmaier, à savoir qu'*"aucune technique n'est complètement maîtrisée, même une fois introduite dans la pratique normale"* (p. 107). Discutant de la nature sociale de la technique *"normale"* à partir de ses résultats, Wynne affirme que *"les règles de fonctionnement des techniques sont un brassage ad hoc de modes informels accommodant des principes généraux imprécis à des circonstances particulières de mise en œuvre"* (Wynne, 1988, p. 149). Par opposition aux sciences, où les données sont associées à des théories abstraites et générales, les données techniques sont déterminées par le caractère spécifique de chaque pratique technique et sont relatives à celle-ci.

La théorie des différents génies constitue une caractéristique principale du savoir technologique, dans laquelle figurent pour partie les concepts scientifiques et les données problématiques. D'après l'usage du terme en histoire des techniques, Staudenmaier le définit comme *"un corpus de connaissances mettant en œuvre des méthodes expérimentales en vue de construire un système intellectuel formel et mathématiquement structuré [...qui] rend compte des caractéristiques comportementales d'une classe particulière d'artefacts ou de matériels se rattachant à des artefacts"* (p. 108). Cette définition présente des similitudes avec celle d'une théorie scientifique, mais, on peut soutenir qu'elle en diffère à la fois sur le fond et sur la forme, car les contenus et les procédures des génies sont *"structurés par les nécessités des pratiques technologiques plus que par les exigences plus abstraites d'une discipline scientifique"* (p. 109). C'est, semble-t-il ce que Rankine envisageait quand il affirmait que son programme donnerait à un étudiant les compétences requises *"pour concevoir une structure ou une machine dans un but précis, sans qu'il lui soit nécessaire de copier un modèle existant, et d'adapter ses projets pour lesquels aucun exemple existant ne fournit de parallèle. Il lui permettrait d'évaluer la limite théorique de la résistance ou de la stabilité d'une structure ou le rendement d'une machine particulière, - de s'assurer de la mesure dans laquelle une structure ou une machine donnée n'arrive pas à atteindre une limite, - de découvrir les causes de tels défauts, - et de concevoir des améliorations pour parer à de telles causes ; et il serait à même de juger dans quelle mesure une règle pratique établie est fondée sur la raison, sur la simple pratique courante ou sur l'erreur"* (Rankine, 1872, p. 9).

Cela étant, il n'en reste pas moins que le génie n'élabore que des objets du domaine de la pensée et non des réalisations pratiques dans le monde fabriqué. L'articulation entre la théorie et l'action doit encore être abordée, ce qui implique que l'on s'intéresse au concept de compétence technique.

Une interprétation consiste à dire que la notion de génie sous-entend une division du travail entre, d'un côté, l'expert en théorie qui conçoit et planifie et, de l'autre côté, l'opérateur, techniquement compétent qui exécute le projet. Il existe une disjonction entre le savoir et le faire. En d'autres termes, la compétence technique n'est rien d'autre que l'application de ce savoir codifié, sous la forme de formules, de règles et de tableaux qui constituent la théorie d'un génie.

Un point de vue opposé répondrait que la compétence technique doit s'apprendre par l'expérience, que, d'après Nasmyth, "la nature et les propriétés des matériaux ne peuvent s'apprendre que par leur manipulation" et que "aucune pratique technique ne peut être entièrement réduite à de la théorie abstraite" (Staudenmaier, p. 115). Pour cette raison, il existe des jugements techniques qui ne peuvent pas être basés sur le seul savoir théorique. Un exemple nous est fourni par l'histoire d'un projet de fabrication de la fusée allemande V 2. "Le responsable d'une telle organisation doit posséder une bonne part de savoir technique, de bon sens et d'expérience pour déterminer le moment opportun où il faudra geler le développement, et commencer la production" (Dornberger, 1963, p. 400).



**Figure 1 : Un modèle de la nature du savoir technologique
(d'après Staudenmaier, 1985)**

Staudenmaier conclut que si on considère l'ensemble des développements techniques, y compris des évolutions techniques récentes, les travaux des historiens sont plutôt en faveur de cette deuxième conception de la compétence technique. La conception disjonctive du savoir et du faire, sur laquelle reposent les modèles de type "application", n'est pas solidement étayée et l'interprétation dominante de la compétence technique est celle d'un mode cognitif singulier et non réductible.

On retrouve ici plus ou moins ce que Donald Schön, évoquant la nature des pratiques professionnelles compétentes, a appelé "savoir en acte", c'est-à-dire "un genre de savoir (qui) est inhérent à l'action intelligente" (Schön, 1983, p. 50). Comme Schön, les historiens de la technique rejettent comme inadéquate une épistémologie de la pratique reposant sur la rationalité technique, c'est-à-dire "l'application d'un savoir privilégié à des problèmes instrumentaux de pratique" (Schön, 1987, p. XI). L'accent mis sur le tacite est plus affirmé chez Schön que dans la conception du savoir technique chez les historiens. Ceux-ci acceptent peut-être avec trop d'empressement, dans leurs références à la science, ce que Bruno Latour a appelé "les deux mythes d'universalité et de transparence, selon lesquels la science n'était pas seulement uniforme, mais était aussi le seul mode de savoir complètement explicite et articulé" (Latour, 1990, p. 96). L'accord de ces différents courants de recherche pour associer à l'action pratique une forme de cognition distincte est cependant décisif, notamment au regard d'un enseignement des sciences considéré le plus souvent comme constituant les fondations sur lesquelles repose en définitive la pratique.

CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES ET ENVIRONNEMENT QUOTIDIEN

Nous nous tournons maintenant vers une autre source de réflexion concernant les relations entre l'enseignement des sciences et la pratique.

Ce thème est introduit par une réflexion sur la nature des relations entre la science et la technique, que, comme nous l'avons vu, les historiens de la technique ont resitué en tant que thème secondaire d'une compréhension plus globale de la *praxis* technique comme forme de savoir.

Dans une critique du modèle de dépendance hiérarchique et un plaidoyer en faveur du modèle égalitaire et interactif, le sociologue des sciences, Barry Barnes (1982, p. 169) soulève une question intéressante. *"Pourquoi ne pas utiliser un modèle interactif de ce genre pour conceptualiser les relations de la science avec d'autres sous-ensembles culturels [que la technique] ? Pourquoi, par exemple, les relations entre des sous-ensembles culturels tels que la science et la politique, sous réserve que de telles relations existent, ne seraient-elles pas conceptualisées de cette façon, ou encore, les relations entre la science et notre culture quotidienne de sens commun ?"*

Bien que la seconde de ces relations soit l'objet de cette partie, la première mérite une brève digression. Ce que Barnes suggère ici, c'est que les contextes politiques dans lesquels la doctrine publique est formée relativement à des questions telles que les normes d'utilisation d'un additif alimentaire, d'un médicament nouveau ou d'un pesticide, entretiennent des rapports non négligeables avec la science. Edwin Levy a nommé *"science mandatée, le travail des scientifiques et des technologues intervenant à l'intérieur d'instances mandatées pour faire des recommandations ou prendre des décisions de nature politique ou juridique"* (Levy, 1989, p. 41). Les agences de réglementation, les commissions d'experts, les organismes fixant des normes et les tribunaux sont des exemples de telles instances.

La réponse de Levy à la question de Barnes est que le fait de conceptualiser les relations comme interactives se révèle effectivement fructueux. *"Les données et les articles [scientifiques] doivent souvent subir une sorte de processus de transformation quand ils entrent dans le domaine du mandaté"* parce que *"les normes, la nature des faits, les concepts de cause et d'effet, le contrôle de la situation"* ne sont pas les mêmes que dans le contexte d'une discipline de *"science pure"*. Il oppose, sur le fond et sur la forme, l'exposé que ferait un scientifique s'adressant à ses pairs lors d'une conférence, à la communication que prononcerait ce même scientifique en tant qu'expert lors d'un procès (p. 43).

L'élargissement de l'argument de Levy au domaine de l'évaluation des risques n'a pas besoin d'être poursuivi ici, si ce n'est pour constater son rejet du modèle en deux étapes selon lequel *"la science expose, la société dispose"*, signifiant que **la mesure du risque** est une activité scientifique objective et probabiliste alors que **l'acceptabilité du risque** entraîne des jugements de valeur individuels et sociaux. Pour lui, et **la mesure** et **l'acceptabilité du risque** sont toutes deux des activités à la fois chargées de valeurs et scientifiques. Bien que cette conclusion n'ait rien d'exceptionnel et soit à présent admise, sa signification réside ici dans la lumière qu'elle projette sur *"la science mandatée"*. Celle-ci existe dans des conditions concrètes et confuses *"qui sont très éloignées des systèmes idéalisés et isolés de la « science pure »"* (p. 50). Elle comporte des incertitudes et des faiblesses à la fois en ce qui concerne les données et les interprétations possibles ; et pourtant elle est requise pour servir de base à l'action

pratique. Sa construction a beaucoup de choses en commun avec celle du savoir technologique tel qu'il a été exposé dans la partie précédente. Evoquant le même phénomène, qu'il appelle "science du citoyen", J.R. Ravetz affirme que "pour évaluer des renseignements techniques faibles ou mal fondés, pour distinguer (et **non** séparer) les aspects plus ou moins imprégnés de valeurs de matériaux et de méthodes ;... ainsi que pour concevoir des structures politiques appropriées permettant de parvenir à un consensus, à des décisions, à un contrôle, à une mise en application, tous les partenaires devront faire face à l'incertitude et à l'ignorance" (Ravetz, 1985, p. 3).

Si nous revenons maintenant à la deuxième relation mentionnée par Barnes, c'est-à-dire à celle existant entre la science et "la culture quotidienne de sens commun", les résultats de recherches récentes sur la compréhension des sciences par le grand public sont éclairants. Dans une large mesure, l'origine de ce travail est lié au constat que le grand public apparaît ne pas comprendre, voire ignore complètement, les sciences (*Royal Society*, 1985 ; Laetsch, 1987 ; Thomas et Durant, 1987). En Grande-Bretagne, une commission mixte (COPUS) de la *Royal Society*, de la *Royal Institution* et de la *British Association for the Advancement of Science* fut fondée en 1986 en vue d'améliorer la situation et le *Economic and Social Research Council* finança un programme de dix projets, coordonné par le *Science Policy Support Group* (ESRC, 1990). D'autres recherches avaient été entreprises à l'université de Leeds (Layton, Davey et Jenkins, 1986 ; Layton, 1986), aux États-Unis (par exemple Stern et Aronson, 1984) et ailleurs. Bien qu'elles aient été organisées et, dans une large mesure, entreprises de façon indépendante, une caractéristique notable de ces recherches est la façon dont leurs résultats concordent dans leur mise en cause des hypothèses traditionnelles concernant les relations entre "les sciences" et "le grand public" et dans leur reconceptualisation de ces relations.

Contrairement aux nombreux essais antérieurs d'exploration "de la compréhension des sciences par le grand public", qui utilisaient des techniques basées sur de grands échantillons, des méthodes d'enquêtes quantitatives et des questionnaires (Miller, 1987 ; Shortland, 1987 ; Durant, Evans et Thomas, 1989), les approches méthodologiques adoptées dans ces travaux récents ont été qualitatives et interprétatives, fondées sur l'observation de participants et des interviews en profondeur sur de petits échantillons. Un grand nombre d'études ont été "locales" et contextualisées, dans le sens où les contacts des populations observées avec la science ont eu lieu dans un cadre "quotidien", à la maison ou au travail. Parmi les participants aux quatre études menées à Leeds, on trouvait des parents qui élevaient chez eux leur enfant atteint du syndrome de Down, des personnes âgées gérant au quotidien leur utilisation de l'énergie domestique, des élus locaux confrontés à des décisions d'enlèvement de déchets toxiques, ainsi que des habitants résidant à proximité d'une usine de retraitement nucléaire (soupçonnée d'être à l'origine d'un taux élevé de cas de leucémie chez les enfants habitant aux environs) et les employés de celle-ci. Le ESRC a financé des recherches à l'université de Lancaster, sous la direction du docteur Brian Wynne, concernant des contextes tels que le service de radiologie d'un hôpital, des élevages de moutons en Cumbria, et ailleurs, pendant la période post-Tchernobyl, une enquête sur le radon conduite par un Office local de Santé ainsi que le *British Nuclear Fuel's Training College*. Une autre étude, dirigée par le professeur Hilary Rose à l'université de Bradford, a examiné les rapports aux connaissances scientifiques de patients atteints d'hypercholestérolémie, une maladie génétique. Cette recherche s'est intéressée à des groupes d'auto-assistance motivés par l'élaboration d'une compréhension utile de leur infirmité. Une autre recherche, dirigée par le docteur Alan Irwin à l'université

de Manchester, a examiné les moyens et les processus de diffusion de l'information technique concernant des sujets tels que les risques pour la santé et les menaces pour l'environnement, et surtout les facteurs influençant les réactions de groupes sociaux particuliers à cette information.

| | Passé | Présent |
|--|---|--|
| Image d'ensemble | $\begin{array}{c} S \\ \uparrow \\ \downarrow \\ T \end{array}$ Dépendance hiérarchique | $S \longleftrightarrow T$ Égalitaire, interactive |
| Principaux agents de médiation | Mots | Individus |
| RÉSULTATS | | |
| a) Pour le développement des connaissances | a) Conséquences prévisibles. T déduit les répercussions de S et leur donne une représentation matérielle. Pas de rétroaction de T sur S. | a) Pas de conséquences prévisibles. T utilise parfois S de façon créative. S utilise parfois T de façon créative. Interaction |
| b) Pour le développement des compétences et des techniques | b) S pourra utiliser librement T en tant que ressource pour la recherche | b) Ne constitue pas un sujet distinct. Interaction comme ci-dessus. |
| c) Pour l'évaluation des connaissances et des compétences | c) S évalue les découvertes de façon immuable et décontextualisée. T est évaluée en fonction de sa capacité déduire les répercussions de S. Succès de T s'il y a utilisation convenable de S. Échec de T si S est utilisée de façon incompétente. | c) S et T étant toutes les deux inventives, nécessitent toutes les deux des évaluations en termes de buts. Pas de raison <i>a priori</i> à ce que l'activité en T ne soit pas évaluée par rapport à des buts utiles à des agents de S ou vice-versa. |

Figure 2 : Relations entre le Science (S) et la Technique (T)
(d'après Barnes, 1982, p. 167)

Ce qui ressort avec force des résultats de ces différentes études est la profonde inadéquation d'une interprétation de "la compréhension des sciences par le grand public" en termes d'écart de connaissances. Selon un tel modèle, les consommateurs profanes de science font preuve de lacunes indues qui doivent être comblées par les producteurs experts de la science à partir de leur corpus de savoir unifié, cohérent, exact et indiscutable. Il s'en suit qu'une meilleure compréhension par le grand public doit être atteinte par un flux accru et unidirectionnel de connaissances de "la science" en direction des "citoyens". Ce modèle simple "du déficit cognitif" est radicalement remis en question par les résultats des recherches récentes.

Le premier point est que le caractère, tenu implicitement comme non problématique, de la science vue comme une entité agglomérée, unique, d'une importance capitale pour les activités quotidiennes, n'est pas soutenable. Concernant les travaux conduits dans le cadre des projets financés par l'ESRC, Brian Wynne a écrit que "*il n'apparaît pas de consensus clair, même parmi les scientifiques, sur ce qui constitue «la science» et sur la nature du «savoir scientifique» dans un contexte spécifique donné*" (Wynne, 1990, p. 3). Concernant une étude de Peter Glasner à l'École Polytechnique de Bristol, il constate que "*aucun «concept unifié» de la science n'a surgi d'une série d'interviews de scientifiques, de directeurs de recherche, de conseillers scientifiques et de spécialistes de l'environnement*" (Wynne, 1990, p. 6). Des désaccords existent en ce qui concerne les frontières de la science et ce qui est tenu pour savoir scientifique dans un contexte particulier. A partir de ses propres recherches sur le rôle des scientifiques dans des instances juridiques statuant sur des conflits liés à l'environnement, Wynne attire l'attention sur "*l'existence d'un désaccord portant non seulement sur les «faits» et les interprétations, mais sur ce qui constitue une approche scientifique «appropriée»*" (ibid.). Une étude menée à Leeds sur les réactions aux risques d'irradiation provenant d'une usine de retraitement de combustibles nucléaires corrobore ce point de vue. Une évaluation bio-radiologique du nombre de cas de leucémie, qui, d'après les calculs, pourraient avoir été causés par des fuites accidentelles ou délibérées de l'usine sur une période d'environ vingt ans, a reposé sur une série d'hypothèses dont toutes étaient récusables. De même, une évaluation épidémiologique du nombre de cas de leucémie identifiés dans la population enfantine locale, sur la même période, s'avéra à la fois sensible au temps et marquée par des décisions arbitraires, comme le fait de savoir si ce sont les cas de décès ou de diagnostic qui doivent être relevés. Vue sous cet angle, la science commence à prendre une apparence beaucoup moins solide que celle que l'on rencontre dans de nombreux contextes formels d'enseignement. Les résultats permettent des interprétations conflictuelles et prêtent le flanc au désaccord entre experts (Macgill, 1987). Pour cette raison, on a avancé qu'une compréhension des processus internes par lesquels le savoir scientifique est généré et validé, ainsi qu'une reconnaissance de leurs faiblesses et limites constituent un élément clé de "*la compréhension des sciences par le grand public*" (Millar et Wynne, 1988).

Quant à l'importance de la science par rapport aux pratiques de la vie courante, les recherches montrent que le savoir scientifique proposé, ou accessible, aux gens est rarement utilisable sans avoir été retravaillé ou recontextualisé. Ce processus entraîne, au minimum, son intégration à d'autres savoirs, souvent situés et personnalisés, de même qu'à des jugements de différentes sortes. Les parents d'enfants atteints du syndrome de Down, par exemple, lorsqu'ils étaient informés de la probabilité de réapparition de la maladie s'ils avaient un autre enfant, incorporèrent cet élément à une matrice de considérations comprenant le désir de la mère de démontrer qu'elle pouvait avoir un enfant "nor-

mal" ainsi que des jugements sur le rôle positif que pourrait jouer un frère ou une sœur dans le développement de l'enfant atteint du syndrome de Down. Les modes d'utilisations de l'énergie domestique par les personnes âgées dépendaient non seulement de leur compréhension de la physique de la conservation de la chaleur, mais aussi de considérations relevant de l'esthétique, du confort personnel, du concept de soi, d'ordre financier ou autres (Stern et Aronson, 1984 ; Layton, Jenkins, Macgill et Davey, en cours d'impression). Wynne donne l'exemple d'éleveurs de moutons qui furent informés par des ingénieurs agronomes que leurs troupeaux évacueraient le césium radioactif plus rapidement en paissant sur les pâturages plus riches de la vallée plutôt que sur ceux des hauteurs. A la fois l'aspect pratique et la crédibilité de ces conseils furent mis en doute en raison de l'expérience des éleveurs qu'un pâturage intensif dans les herbages de la vallée aboutirait à menacer une ressource fragile d'une importance capitale pour les futurs cycles de procréation de leurs brebis (Wynne, 1990, p. 7). Il existe ici des similitudes avec les connaissances locales manifestées par les paysans de la région de l'Himalaya qui s'opposent aux conseils "scientifiques" sylvicoles visant à remplacer les arbres traditionnels par du pin et du teck d'une plus grande valeur commerciale. Leur analyse plus holistique de la situation a pris en compte des considérations plus larges, telles que le lien entre le déboisement et les inondations, ainsi que le risque de passer d'un état d'indépendance à un état de dépendance en ce qui concerne nourriture, fourrage, combustible, engrais et tissus, provenant tous des arbres Sal traditionnels dont le remplacement était proposé par les experts (Jayanta Bandyopadhyay, 1984). Les parents d'enfants atteints du syndrome de Down, les patients atteints d'hypercholestérolémie héréditaire et les communautés résidant près d'installations dangereuses ont tous construit un savoir situé qui était souvent plus fonctionnel par rapport à leurs problèmes que celui proposé de source "scientifique". Cela ne revient pas à dire que le savoir scientifique n'est pas pertinent, mais qu'il existe une interaction entre le savoir savant relativement à une situation ou à un problème donnés et les compréhensions et les dispositions que les gens mobilisent pour les confronter. En tout état de cause, il est clair que le modèle du déficit cognitif, avec son conception d'un flux univoque de connaissances scientifiques allant du producteur au consommateur représente une manière erronée de décrire cette relation.

En réalité, les gens ne font pas l'expérience du savoir scientifique comme quelque chose de libre et dégagé des liens sociaux et institutionnels. Les questions "de qui ?, d'où ? de quelle source institutionnelle ?" sont essentielles pour évaluer la crédibilité et la fiabilité du savoir. Les réponses données à ces questions, jouent donc un rôle important dans le processus d'interaction entre les "experts" et les profanes. Il ressort d'une étude faite à l'occasion d'une fuite de méthane à Leeds, que les conseillers municipaux locaux ont rarement contesté les conseils techniques que leur avaient donnés leurs responsables sur des problèmes relevant de la science de la gestion des déchets. Ils conçoivent leur rôle comme devant se limiter essentiellement à prendre en compte les conséquences politiques, économiques et sociales des décisions, les aspects scientifiques étant du ressort des spécialistes. Cette division du travail basée sur la confiance en la compétence d'autrui a été observée dans nombre d'études. On s'est aperçu que des apprentis électriciens au *British Nuclear Fuel's Training College* avaient peu de connaissances dans le domaine de la physique des matériaux radioactifs et des propriétés des rayons alpha, beta et gamma. En effet, ils jugeaient que la nécessité de ces connaissances avait déjà été satisfaite par les spécialistes qui avaient conçu l'usine et établi ses règles de fonctionnement. Alors que les apprentis avaient manifestement besoin d'apprendre et de

travailler dans le cadre des règles appropriées, ils ne jugeaient pas nécessaire de connaître leur fondement scientifique (Wynne, 1990, p. 10).

Dans d'autres cas, les origines sociales et institutionnelles du savoir scientifique proposé trahissaient, au plan des priorités et des intérêts, des valeurs tellement opposées à celles des destinataires qu'un rejet s'en est suivi. Les descriptions des manifestations mentales et physiques du syndrome de Down, fournies par les travailleurs médicaux aux nouveaux parents, souvent au moment où ceux-ci éprouvaient une douleur affective aiguë, n'étaient très souvent pas pris en compte et, dans de nombreux cas, étaient ensuite réfutés par l'expérience. "Je suppose qu'ils ont peur de vous donner de l'espoir" a admis un parent, "mais l'espoir c'est tout ce qu'il vous reste". De la même façon, les explications sur les origines chromosomiques du syndrome de Down ont été jugées hors de propos par les parents et d'une faible utilité pratique pour eux. Le fait de savoir que leur enfant avait 47 chromosomes par cellule au lieu de 46 normalement, et que cela correspondait plus à la norme qu'un cas de trisomie 21, en mosaïque ou par translocation, ne contribuait pas à résoudre les problèmes immédiats. Un tel savoir, généré, validé et standardisé au sein d'une communauté, dont la motivation première est la compréhension du monde naturel et dont le but à long terme est l'élaboration de conceptualisations générales, ne répondait pas aux besoins de parents accablés de soucis urgents dans un contexte particulier. Cette impuissance à faire preuve de sensibilité aux perspectives et aux valeurs des destinataires du savoir scientifique est illustrée par d'autres témoignages tirés des projets financés par l'ESRC. Ainsi, des agriculteurs de Cumbria refusèrent de subir une détection de radioactivité corporelle : en effet, si des taux élevés étaient découverts, il n'y avait rien d'autre à faire que s'inquiéter. En même temps, une demande d'analyse de leurs réserves d'eau, point sur lequel une intervention était possible, leur fut refusée, confortant ainsi les avis négatifs quant à la crédibilité des scientifiques à qui ils avaient affaire. Dans l'étude d'Irwin sur la compréhension de la notion de risque par le grand public, les jugements concernant la crédibilité des sources d'information scientifique apparaissent comme un facteur important dans l'interaction entre la science et ses publics (Irwin et Jupp, 1990). L'origine des "experts" et la façon dont ils délivraient leur savoir importaient autant pour son acceptabilité par des "non experts" que des considérations sur la validité de la science.

Résumant les résultats de cinq des projets de l'ESRC sur ce sujet, Brian Wynne confirme que *"l'acceptation (ou non) des sciences par le public est moins une question de capacités intellectuelles que de facteurs socio-institutionnels, qui concernent l'accessibilité sociale, la confiance et la négociation par opposition à l'imposition"* (Wynne, 1990, p. 10). De plus, de nombreuses études montrent que, quand la science est vue comme pouvant s'articuler de façon utile avec ce qui les concerne et les intéresse, les gens font preuve de capacités considérables à identifier des ressources et à traduire la science et d'autres connaissances dans des formes pertinentes pour l'action pratique. Les conséquences de ce processus peuvent parfois remettre en question la compétence scientifique dominante, en particulier en identifiant des lacunes dans le programme de recherche de la science professionnelle. Par exemple, face à des affirmations contradictoires et des expériences personnelles ambiguës, les parents d'enfants atteints du syndrome de Down ne purent trouver aucune recherche faisant autorité en ce qui concerne les effets salutaires (ou autres) d'un apport vitaminique dans le régime alimentaire de leurs enfants.

Un autre résultat des différentes études concerne le concept d'"ignorance". L'ignorance figure de façon centrale comme une caractéristique du grand public au sein d'une modélisation en termes de déficit cognitif. Sous le modèle interac-

tif, elle renvoie à une interprétation différente et, en effet (comme chez les parents ayant un enfant atteint du syndrome de Down qui refusaient les explications chromosomiques et chez les agriculteurs qui refusaient de subir une détection de radioactivité corporelle), elle se présente comme un choix positif plutôt qu'une condition déficitaire. En effet, on peut discerner des variétés d'ignorance, telle que celle provenant de l'acceptation d'une division du travail comme dans le cas des apprentis de Sellafield et des conseillers municipaux s'occupant de gestion des déchets. L'ignorance sélective est ici fonctionnelle, permettant de concentrer l'attention de façon plus efficace sur un domaine d'action spécifique. L'étude menée à l'université de Lancaster a identifié une autre forme d'ignorance, l'ignorance constitutionnelle, reflétant la façon dont les gens se désignent eux-mêmes comme manquant "d'esprit scientifique". Le fait de s'exclure des sciences pour cette raison conduit les gens à se situer eux-mêmes dans une position de dépendance par rapport à la science et à ceux qu'ils jugent être ses agents. Ils ne se situent pas dans une perspective de compréhension active parce qu'ils font confiance aux autres pour leur fournir le savoir nécessaire, au gré des circonstances (Wynne, Payne, Wakeford, 1990, pp. 11-12 et 18-19).

Il est clair que l'exigence de comprendre la science dans les termes de la science, comme le suggère le slogan de "*compréhension des sciences par le grand public*", est fondamentalement contestée par les résultats de ces études récentes. De plus, le savoir scientifique est loin d'occuper une position centrale par rapport aux pratiques de la vie quotidienne; le procès de son intégration aux jugements personnels et aux savoirs situés relèguent fréquemment la science à un rôle secondaire, si cela ne lui fait pas quitter complètement la scène (comme dans les cas de "choix positif" et d'ignorance "fonctionnelle"). Cela ne consiste pas à minorer relativement l'importance du savoir scientifique dans le champ de la pratique, mais souligne la nécessité de le "retravailler" ou de le "retraduire" pour le rendre opérationnel et, en même temps, renvoie au problème discuté antérieurement des relations entre savoir scientifique et savoir technologique.

Ce bref examen des études récentes sur "*la compréhension des sciences par le grand public*" est loin d'être exhaustif et beaucoup d'autres facteurs méritent d'être pris en considération par les enseignants des sciences. Nous évoquerons ici un dernier point. L'étude menée par l'université de Lancaster s'efforça de clarifier la nature, la genèse et l'évolution des modèles mentaux que le grand public peut se construire en ce qui concerne des phénomènes et des problèmes particuliers. Comme exemple de ce qu'on entend par modèle mental, et de la façon dont il pourrait influencer le comportement, on a cité le cas d'une personne qui faisait bouillir son lait afin de le décontaminer après le passage d'une pollution venant de Tchernobyl sur sa région. On a avancé que son comportement pouvait être compris en fonction de son modèle mental de la radioactivité. Elle semblait souscrire à un "modèle microbien" de la radioactivité, structurant sa compréhension de la contamination radioactive à travers la métaphore plus familière du microbe, susceptible de causer une intoxication alimentaire, mais pouvant être détruit à la cuisson. Conformément aux conceptions actuelles en sociologie de la connaissance, de tels modèles mentaux ont été présentés comme subissant l'influence de l'interaction sociale et de l'environnement culturel, compensant ainsi une propension attribuée aux travaux précédents à valoriser excessivement la cognition individuelle et l'environnement physique.

On retrouve ici un certain nombre d'éléments communs aux recherches de tradition constructiviste, à présent nombreuses, sur les "misconceptions" ou les "conceptions alternatives" des élèves. Cela étant, il est intéressant de noter que l'équipe de Lancaster a considéré "*les tentatives d'étudier la compréhension des*

gens en termes de leurs modèles mentaux ont révélé que cet outil d'analyse n'était, d'une manière générale, pas approprié pour interpréter la compréhension de profanes" (Wynne, Payne, Wakeford, 1990, p. 7). Des problèmes d'ordre méthodologique et analytique se posèrent ; en général, la connaissance qu'ont les gens d'un aspect spécifique de la science était si "fragmentaire, si dépendante de la situation sociale et tellement imbriquée avec des connaissances relatives à d'autres problèmes (y compris des considérations de positionnement institutionnel, de politique, voire d'autres thèmes scientifiques) qu'il était impossible d'identifier des modèles mentaux stables et discrets" (ibid.). De tels modèles ne semblaient exister que dans des cas où il y avait une raison particulière de les construire. Le cas habituel était que les sujets sollicitaient "des bouts de modèles disponibles, de façon opportuniste et flexible, en fonction de la spécificité de chaque contexte" (ibid., p. 9). Loin d'être des consommateurs passifs de connaissances, ils apparaissent comme d'actifs et discriminants utilisateurs, "bricolant" * des synthèses entre des cadres d'interprétation contradictoires, transportant un savoir scientifique, issu du contexte éthéré de sa genèse, vers les contextes turbulents de son utilisation.

Le constat du caractère inapproprié de l'approche en termes de modèle mental a été considéré par les chercheurs comme un acquis positif, mais il ne surprendrait sans doute pas ceux qui sont familiers des études sur l'apprentissage des sciences chez les enfants (voir par exemple Driver, 1988, pp. 67-74) ou sur les conceptions de scientifiques et mathématiciens dans la vie quotidienne des adultes (voir par exemple Rogoff et Lave, 1984 ; Lave, 1988). Cela confirme, cependant, l'idée que "la pensée naturelle" et "le savoir en acte" sont décidément plus complexes et moins bien connus que «la pensée scientifique». Ceci interroge "la croyance largement répandue selon laquelle «la pensée scientifique» constitue un étalon convenable pour mesurer, diagnostiquer et remédier à «la pensée naturelle» telle qu'elle se manifeste dans des enquêtes et en situation scolaire" et que "la science, la scolarité et la pratique courante [correspondent à] un classement hiérarchique des types de pensée et de savoir supposés caractériser respectivement les experts professionnels, «les profanes» [...] et «les gens ordinaires»" (Lave, 1988, p. 4).

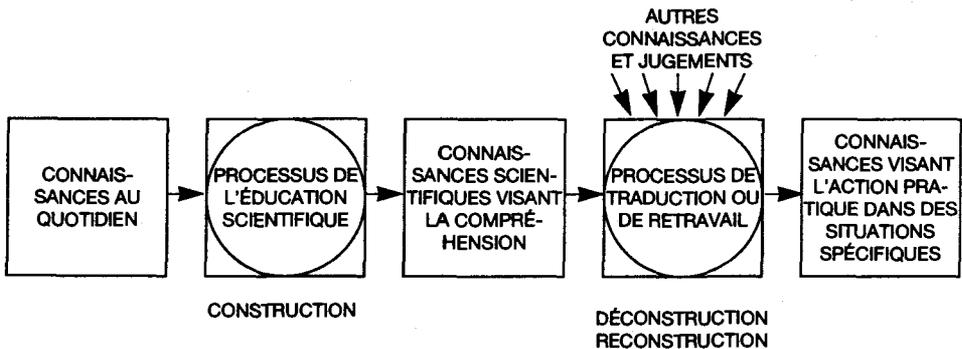


Figure 3 : Construction et Dé-Reconstruction des connaissances scientifiques

* En français dans le texte

Au cours des deux dernières décennies, de nombreuses recherches sur l'apprentissage des sciences chez les enfants ont été fondées sur une idée de l'apprentissage comme processus de construction du savoir, se développant à partir des connaissances antérieures (préconceptions, intuitions, structures alternatives) que les élèves importent dans leurs activités scolaires et qu'ils modifient progressivement jusqu'à atteindre des conceptions concordant avec "la science authentique" (Martin, Kass et Brouwer, 1990). En termes des relations décrites dans la figure 3, l'effort de recherche a porté essentiellement sur la compréhension et la transformation des processus situés du côté gauche du schéma : la construction de savoir scientifique finalisée par la compréhension. Les recherches qui ont été passées en revue ci-dessus font ressortir un nouveau problème - celui de la déconstruction et reconstruction de ce savoir scientifique pour le rendre compatible avec l'action pratique. En même temps, elles témoignent du caractère rudimentaire de notre compréhension de ce processus important.

AUTRES APPROCHES DE LA COGNITION DANS LA PRATIQUE

Bien que le débat sur la nature du savoir pratique remonte au moins à Aristote (Jonsen et Toulmin, 1988, pp. 58-64), les philosophes modernes ne s'en sont pas préoccupés. Dans un des rares livres récents qui tentent de s'attaquer à ce sujet, Barry Smith reconnaît que, plus de quarante ans après l'article de Gilbert Ryle sur "Savoir Comment et Savoir Que" en 1945, "le problème du savoir pratique n'est toujours pas parvenu à s'assurer une position solide dans le champ des problèmes que traitent les philosophes analytiques" (Nyiri et Smith, 1985, p. 1).

Certains signes, encore peu nombreux, indiquent que la situation est en train de changer. Un exemple en est l'étude de "la tradition du savoir créateur", par Antonio Pérez-Ramos, qui examine la "raison telle qu'elle se manifeste chez l'homme dans l'action délibérée (le faire/le fabriquer), surtout quand celle-ci se fonde sur les sciences naturelles" (Pérez-Ramos, 1988, p. 3). Dans une critique des formes hirstiennes de savoir et dans le contexte de discussions relatives à la technologie à l'école, Neil Bolton a fait appel aux idées de Michael Polanyi et Maurice Merleau-Ponty pour affirmer que "tout acte de savoir dépend de la pratique en tant que voie de formation d'une adhésion personnelle" et que dans l'élaboration d'un champ de connaissances, "la pratique est à la fois le fondement et la source continue de tout savoir" (Bolton, 1987, pp. 10-11). C'est cependant dans le domaine de la philosophie morale, plutôt que dans celui de l'épistémologie, que les philosophes se sont surtout intéressés aux problèmes de savoir et de raisonnement pratiques. Les récents progrès des sciences de la vie, notamment dans le domaine des manipulations génétiques, ont retenu leur attention, avec des ouvrages comme ceux de Peter Singer *Embryo experimentation* (1990), *In defense of animals* (1985) et *Applied ethics* (1986) qui ne constituent que quelques exemples d'un genre en expansion. *The abuse of casuistry. A history of moral reasoning* (1988) de Albert Jonsen et Stephen Toulmin procède du même intérêt pour les enjeux éthiques soulevés par les développements scientifiques et techniques. Nous rappelant que l'action pratique est intimement liée aux jugements moraux, la quête de Hans Jonas "d'une éthique pour le siècle de la technologie" est motivée par la conscience de ce que "la portée de nos actions augmentant, la responsabilité, dont l'objet n'est rien moins que le destin de

l'homme, se trouve déplacée vers le centre de la scène éthique" (Jonas, 1983, p. X).

Il y a eu également des incursions dans le domaine de la philosophie politique de la science, particulièrement avec l'ouvrage de Joseph Rouse *Knowledge and Power* (1987). Rouse affirme que les deux courants distincts de réflexion philosophique sur la science au vingtième siècle, l'un associé aux philosophes anglo-américains et l'autre aux philosophes européens continentaux, s'accordent, malgré des approches différentes, sur la primauté concédée aux caractéristiques intellectuelles et épistémiques de la science. En revanche, des questions été négligées, telles que celles de savoir "*pourquoi les [...] nouvelles conceptions scientifiques au cours des deux derniers siècles ont-elles été applicables si facilement et d'une manière si large*" et "*quel a été leur impact social et politique*" (p. VIII). Faisant appel aux philosophes "néo-empiristes" de la science tels que Ian Hacking, Mary Hesse et Nancy Cartwright, ainsi qu'aux idées d'autres penseurs tels que Michel Foucault, Martin Heidegger et Jürgen Habermas, Rouse se demande pourquoi certaines représentations du monde nous aident à le manipuler et à le contrôler de façon efficace. Comme il le fait remarquer, "*on ne peut pas tenir pour certain le fait qu'une connaissance accrue du monde naturel conduise inéluctablement à la rendre réellement utilisable, voire effectivement utilisée*" (p. VIII). Une grande partie de ses considérations ultérieures concerne les rapports entre savoir et pouvoir dans le petit monde du laboratoire, mais il pose la question de l'influence de la science sur la technologie et se demande si elle ne relève pas "*au moins autant de la transformation de processus, de techniques et de pratiques scientifiques pour satisfaire des intérêts extra-scientifiques, que de l'application de théories scientifiques*" (p. 24). Bien que sa vision de la "*science en tant que pouvoir hors du laboratoire*" soit intéressante, surtout par rapport aux conditions permettant un développement technologique du savoir scientifique, elle n'a qu'un impact indirect sur le problème de la nature du savoir pratique (pp. 226-36).

Les sociologues, autant que les philosophes, se sont intéressés à la nature du savoir. Les processus de sa production, de sa validation, de son organisation, de sa distribution et de son utilisation ont constitué des objets de recherche et de théorisation. Les rapports entre systèmes de savoir et action pratique n'ont cependant pas constitué un thème majeur dans la littérature, à l'exception du livre de Holzner et Marx intitulé *Knowledge Application, The Knowledge system in society* (1979) dont une citation figure en exergue de cet article. Bien qu'ils démontrent de façon convaincante que l'application du savoir est tout sauf "*une simple affaire routinière de calcul et de rationalisation*" (p. 261) et qu'ils incluent parmi leurs exemples quelques-uns tirés des domaines de la science et de la technique, leur préoccupation est d'ordre général et non spécifique à un domaine particulier du savoir.

C'est en nous tournant vers la psychologie, cependant, que nous pouvons trouver un courant de recherche développé qui semble être comparable et, dans une certaine mesure convergeant, avec les travaux évoqués plus haut sur l'histoire et la philosophie de la technique et sur la compréhension de la science par le grand public. Ce courant prend des noms différents tels que "*cognition quotidienne*" (Rogoff et Lave, 1984), "*cognition en pratique*" (Lave, 1988) et "*compréhension quotidienne*" (Semin et Gergen, 1990). Les aspects sur lesquels l'accent est mis peuvent varier, mais le rôle important du contexte dans les activités cognitives constitue la caractéristique distinctive d'une grande partie de ces travaux.

Le recueil de onze conférences édité par Rogoff et Lave (1984) représente un point de repère dans le domaine. Il réunit des psychologues du développement, des anthropologues, des sociologues et des informaticiens, qui s'intéressent au développement de la pensée dans des situations pratiques telles que une usine de transformation du lait, une piste de ski pour débutants, un supermarché ainsi que des contextes d'enseignement plus habituels. Certains de ces travaux ont pour origine des observations transculturelles, mettant en évidence le fait que des sujets éprouvant des difficultés à manifester une habileté particulière dans le cadre formel d'un laboratoire pouvaient néanmoins faire preuve de cette habileté dans leurs activités quotidiennes. Cela n'est pas à interpréter comme la preuve de l'existence d'une compétence cognitive réelle ne pouvant être dévoilée que si le contexte était correctement structuré ou, d'une certaine façon, susceptible d'être contrôlé. Le laboratoire n'équivait pas à une absence de contexte et comme Rogoff et Lave le montrent, *"le contexte est une composante intégrale des événements cognitifs, et non pas une variable parasite"* (p. 3). Leur position est que *"la pensée est liée de façon intime au contexte du problème à résoudre"* (p. 2). Suivant Vygotsky, elles considèrent l'activité cognitive comme *"socialement définie, interprétée et déterminée"* au sens où *"l'interaction avec d'autres personnes et l'usage d'outils et de schèmes sociaux de résolution de problèmes sont au cœur des contextes quotidiens dans lesquels elle se produit"* (p. 4).

Les faits rassemblés par les auteurs du recueil de Rogoff et Lave étayaient la conclusion selon laquelle *"penser est une activité pratique ajustée aux exigences de la situation"*. Dans les situations quotidiennes où l'action pratique est requise, *"les individus mettent en œuvre des solutions opportunistes satisfaisantes"*, qui loin d'être *"illogiques et brouillonnes"*, sont *"sensées et efficaces dans leur approche du problème pratique"* (p. 7). Leurs résultats rejoignent ceux des travaux récents sur la compréhension des sciences par le grand public.

Utilisant plus particulièrement les résultats de son *Adult Math Project*, mais aussi d'autres recherches, le nouveau livre de Jean Lave, *Cognition in Practice* (1988) pousse plus avant la réflexion. *"La cognition observée dans la pratique quotidienne"*, avance-t-elle, *"est une activité distribuée - déployée, et non pas divisée entre - le corps, l'esprit et des environnements organisés culturellement (qui incluent d'autres acteurs)"*. Il n'y a pas de disjonction entre "la théorie" et "la pratique". A partir d'exemples tirés de l'étude des calculs que les "gens ordinaires" (terme utilisé avec une ironie délibérée, particulièrement à l'égard de la condescendance dont font preuve les "experts" en face de penseurs "profanes") effectuent lorsqu'ils font leurs courses à l'épicerie ou quand ils mesurent les calories de leur régime, elle montre que, dans un même mouvement, les problèmes sont déterminés en fonction des réponses alors que simultanément les réponses s'élaborent pendant que les problèmes prennent forme. A la fois le problème et la question prennent leur forme **dans l'action** dans un contexte particulier, naturaliste et culturellement structuré. Le savoir syncrétique qui est construit dans la pratique quotidienne présente des similarités avec le savoir technologique tel qu'il a été détaillé plus haut. Selon Rogoff, *"le but de la cognition n'est pas de produire des pensées, mais de guider intelligemment des actions pratiques interpersonnelles et collectives"* (1990, p. 9).

Une orientation récente de ce courant de recherche s'intéresse à la pensée des enseignants dans les contextes spécifiques des salles de classe et des laboratoires. Selon Calderhead (1988, p. 54), nous savons relativement peu de choses du savoir pratique des enseignants (*"le savoir qui est directement lié à l'action"*) si ce n'est qu'il est *"qualitativement différent des connaissances théoriques for-*

nelles, des connaissances académiques ou des connaissances de contenu". Dans un article intitulé "An appropriate conception of teaching science : a view from studies of science learning", Peter et Mariana Hewson (1988, p. 608) citent le point de vue de Lee Shulman selon lequel il faut examiner en détail l'articulation, chez les enseignants, entre leurs connaissances relatives au contenu et le savoir pédagogique qu'ils mettent en œuvre "quand ils représentent et formulent un contenu pour le rendre compréhensible aux autres". Ce savoir pédagogique inclut "une compréhension par les enseignants [...] des conceptions que les élèves d'âge et d'origine différents importent dans la classe, ainsi que les stratégies [...] les plus éprouvées pour modifier les structures de compréhension des apprenants". Pamela Grossman, Susanne Wilson et Lee Shulman (1989, p. 32) dans un article basé sur la recherche entreprise dans le cadre du projet *Knowledge Growth in a Profession* concluent que "un des premiers défis auxquels se trouvent confrontés les professeurs débutants concerne la transformation que doit opérer l'enseignement pour passer des connaissances spécifiques de la discipline à enseigner à des formes de connaissances qui sont appropriées aux étudiants et spécifiques de la tâche d'enseigner. La capacité de transformer la connaissance du sujet nécessite plus que la connaissance du contenu et de la syntaxe de sa discipline ; cela nécessite la connaissance des apprenants et de l'apprentissage, des programmes scolaires et du contexte, des buts et des objectifs de la pédagogie. Cela nécessite également une connaissance de la pédagogie spécifique à chaque matière. En utilisant quantité de différents types de savoirs et d'habiletés [...] les professeurs transforment leurs connaissances du contenu en des représentations instructionnelles". Ces transformations peuvent être complexes (Wilson, Shulman et Richert, 1987) et sont souvent sous-estimées.

QUELQUES CONSÉQUENCES POUR L'ÉDUCATION SCIENTIFIQUE

Conséquences relatives au savoir scientifique

A partir des travaux examinés ci-dessus, on retrouve souvent l'idée que le savoir scientifique tel qu'on le rencontre dans des environnements éducatifs formels, a besoin d'être retravaillé et intégré à d'autres formes de connaissances et de jugements si l'on veut qu'il soit fonctionnel pour l'action pratique. L'expression familière de "science appliquée" n'indique pas suffisamment la nature de la transformation entraînée. Une expression en termes de "traduire" ou de "retravailler" la science suggère mieux la complexité du processus. Cependant, il faut reconnaître que nous n'en comprenons pas encore entièrement le processus; cet aspect sera développé dans la partie suivante traitant des conséquences pour la recherche.

Les changements de contexte, dans lequel l'éducation scientifique se déroule à l'école, ont conduit à réexaminer la nature des articulations entre les sciences enseignées et l'action pratique (Layton, 1990b). Un facteur particulier a été l'émergence, dans de nombreux pays, de la technologie comme composante de l'enseignement général, ainsi que la priorité accordée à l'acquisition de compétences pratiques comme finalité de l'école. Comme Peter Fensham (1991) l'a montré, leur relation avec l'enseignement de la technologie deviendra, pour les professeurs de sciences, un problème crucial dans les années à venir. Tant que l'enseignement scientifique limitait son incursion dans la technique à l'étude des principes physiques mis en œuvre dans les objets fabriqués ou dans les applications industrielles ou domestiques, il n'y avait pas lieu de retravailler les

concepts scientifiques dans la perspective de l'action pratique. Si au contraire, on souhaite donner aux élèves un pouvoir d'intervention opérationnelle et finalisée sur l'univers fabriqué, alors il faut changer de point de vue.

Il y a, bien sûr, des transformations relativement directes qui peuvent favoriser l'articulation des connaissances scientifiques avec la pratique. Par exemple, les pathologies causées par la pollution de l'eau d'origine fécale sont à l'origine d'un pourcentage élevé des maladies dans les pays en voie de développement, de sorte que la conception et la mise en œuvre d'interventions pour maîtriser ces maladies sont d'une grande importance pratique. Cependant, la classification biologique de telles maladies repose sur la distinction des agents pathogènes tels que les virus, les bactéries, les protozoaires ou les helminthes. Cette classification est beaucoup moins utile, comme base d'action, qu'une classification de type écologique distinguant des ensembles de maladies selon leur modes de transmission dans l'environnement. En réélaborant le savoir sous cette forme, on peut déterminer clairement si, par exemple, la priorité dans les efforts visant à améliorer l'hygiène et la qualité de la vie doit être de fournir un approvisionnement fiable en eau ou, au contraire, des équipements sanitaires améliorés (Mara, 1983, pp. 48-49). De la même façon, les pharmacologues, pour leurs besoins, ne classent pas les substances chimiques comme le font les chimistes, en termes de structures moléculaires ou de groupes fonctionnels ; leur classement est fonction des réactions de l'organisme à ces produits chimiques, c'est-à-dire en termes de stimulants, dépresseurs, décongestionnants, analgésiques, vasodilatateurs.

D'autres processus de transformation concernent :

- l'adaptation du niveau d'abstraction du savoir scientifique (par exemple, peu de situations pratiques dans la vie courante ou dans l'industrie, impliquant l'utilisation d'acides, nécessitent une compréhension du modèle d'échange de protons) ;
- "le reconditionnement" du savoir, afin de réintroduire des relations fructueuses entre les composantes du savoir scientifique que des considérations pédagogiques ou disciplinaires ont séparées ;
- et "la recontextualisation", dans le sens de réinstaurer dans la science toutes les "complexités" du réel et qui ont été mises de côté lors de la constitution scientifique du problème.

Un autre procédé consiste à "compacter" des données afin de produire un mode de mesure pratique. En Grande-Bretagne, le *National Home Energy Rating* (NHER : une échelle de dix degrés) de la *National Energy Foundation* en est un bon exemple, le but étant de fournir aux architectes, aux entrepreneurs et aux experts les moyens de calculer le bilan énergétique d'une habitation, un total de dix indiquant un très bon rendement énergétique (Clover, 1990). On annonce aussi l'élaboration prochaine d'une échelle standard permettant d'indiquer à la fois la magnitude des accidents nucléaires, l'impact intérieur et extérieur au site, ainsi que l'étendue des avaries subies par les dispositifs de sécurité (*Financial Times*, 1990). Sur une échelle de sept degrés, on estime que Tchernobyl atteindrait la cote maximale, alors que Three Mile Island et Windscale 1957 se situeraient à cinq. De tels moyens de mesure, bien qu'ils aient des buts pratiques, ne figureront vraisemblablement pas dans des manuels de physique ou des tables de biologie, chimie ou physique.

Un problème important se pose à l'examen de ces différents processus de conditionnement des savoirs scientifiques. Les paramètres de conception en vue de l'action pratique ne correspondent pas nécessairement aux paramètres scientifiques. Les concepts d'"inductance de fuite" et d'"admittance du primaire"

chez Steinmetz, grâce auxquels il a été capable de concevoir de manière plus efficace, et de calculer de façon plus précise, les performances de moteurs à induction à courant alternatif (car les fuites magnétiques, les pertes d'hystérésis et les courants de Foucault étaient mieux représentés par ces modèles que dans la théorie de Maxwell) furent critiqués par des physiciens de l'époque comme étant des paramètres empiriques plutôt que fondamentaux (Kline, 1987, pp. 305-307). Le fait d'employer des concepts tels que "éblouissement incapacitant" et "éblouissement gênant", bien que ne figurant pas dans les manuels scolaires sur la lumière, est utile aux concepteurs d'éclairages d'intérieurs. Ceux qui œuvraient au début du dix-neuvième siècle à la conception et à la construction de locomotives à vapeur disposaient de conseils théoriques très précieux dans des ouvrages maintenant oubliés tels que celui du Comte de Pambours (1837) intitulé *Théorie de la machine à vapeur*. Il utilisait des paramètres de conception comme la charge (c'est-à-dire la résistance de la locomotive), la vitesse (c'est-à-dire le nombre de tours/minute) et la capacité d'évaporation de la chaudière pour produire une théorie générale qui permettait la construction de locomotives en fonction de la puissance désirée. Par opposition, la théorie de son contemporain Sadi Carnot était indépendante des caractéristiques de conception, des matériaux et des mécanismes mis en œuvre et reposait entièrement sur des principes physiques. Elle traitait uniquement des rapports entre les entrées thermiques et les sorties travail. Bien qu'elle permit de calculer le rendement d'une locomotive et eut des répercussions sur l'agencement fonctionnel (par exemple, la température du condensateur devait rester aussi basse que possible), cette théorie n'avait aucune pertinence pratique directe pour la construction d'un moteur destiné à exécuter telle tâche donnée (Kroes, 1990).

Que devraient faire les professeurs de science de tout cela ? Ne devraient-ils pas, au moins, aider leurs élèves à comprendre la nécessité d'une transformation des connaissances scientifiques si elles sont destinées à être utilisées dans des situations pratiques ? La collaboration de professeurs de technologie pour proposer aux étudiants des situations où la science serait intégrée à des activités de conception et de production semblerait aussi souhaitable. Mais la prise de conscience du fait que les paramètres de conception sont souvent spécifiques à des situations pratiques particulières et ont peu de validité en dehors d'elles est également importante. La théorie de de Pambours avait un domaine d'application limité et était pertinente pour les locomotives à vapeur de son époque. La théorie élaborée par Carnot et les lois de la thermodynamique ont un caractère plus universel et plus durable.

Conséquences pour la pédagogie

L'engagement des élèves dans des activités qui favorisent le développement progressif des compétences pratiques a une portée pédagogique qui concerne tous les enseignements, et pas seulement sur ceux de science. A un premier niveau, cela représente une évolution majeure des objectifs de l'école qui jusqu'ici ont considéré, le plus souvent, l'action pratique comme étant étrangère à l'institution. Elle constitue donc un défi à ce que Barbara Rogoff (1990, p. 191) a décrit comme "la tradition euro-américaine de l'école, qui favorise une approche des outils de pensée, à la fois analytique et centrée sur l'individu, et qui promeut les raisonnements et les apprentissages portant sur des savoirs considérées pour eux-mêmes et abstraits de leur mise en œuvre pratique". Autrement dit, en sommant l'école de promouvoir un réengagement du savoir dans des probléma-

tiques pratiques et quotidiennes, on remet en cause son rôle en tant qu'institution historiquement investie de la tâche de décontextualiser le savoir.

Un examen détaillé des conséquences pédagogiques de ce changement est hors de la portée de cet article. Donald Schön (1987) a consacré un livre à l'explication de son concept de *"praticum réflexif"*, c'est-à-dire les moyens pédagogiques par lesquels il serait possible de réconcilier les savoirs disciplinaires et les compétences pratiques et cela essentiellement au sein des domaines spécifiques de l'enseignement supérieur. En ce qui concerne les élèves plus jeunes, et plus généralement au niveau historique, le mode traditionnel d'acquisition des compétences pratiques est celui de l'apprentissage (de type compagnonnage).

Il est donc intéressant de découvrir des psychologues qui s'intéressent à *"la pensée en tant qu'elle sous-tend l'action efficace dans le monde physique et interpersonnel"*, en adoptant la métaphore de l'apprentissage pour rendre compte du développement cognitif. Leur démarche s'inspire du modèle de Vygotsky qui rend compte des mécanismes par lesquels les interactions sociales favorisent le développement cognitif. Sous ce modèle, *"un novice travaille en étroite collaboration avec un expert à la résolution conjointe de problèmes dans la zone de développement proximal [...] Le développement se fait par l'incorporation par le novice des processus cognitifs partagés, et à travers l'accroissement des habiletés et des connaissances existantes par appropriation de ce qui a été réalisé en collaboration"* (Rogoff, 1990, p. 141). Dans ce cas, *"le développement cognitif de l'enfant s'apparente à un apprentissage. Il se déroule à travers une participation à des activités socialement constituées, guidées par des compagnons qui soutiennent et étendent sa compréhension et son usage des outils de sa culture"* (ibid., p. VII). Et comme V. John-Steiner (1985, p. 200) l'a noté, *"c'est seulement grâce à une collaboration étroite que le novice peut apprendre ce que son mentor ne sait peut être même pas : comment il ou elle formule une question ou initie un nouveau projet"*.

Une question qui surgit immédiatement est celle de la mise en œuvre d'une telle pédagogie de l'apprentissage dans un système d'éducation de masse, avec des classes de trente enfants et souvent plus. D'un autre côté, bien qu'il soit vrai qu'une grande partie de l'activité pratique gagne à être effectuée en collaboration, comme c'est le cas dans l'enseignement de la technologie à l'école, la présence d'un partenaire n'est pas toujours efficace. Rogoff (1990, p. 163) fait remarquer que *"dans certains cas, la présence d'un partenaire va être source de distraction, et l'attention se focalise sur la division du travail ou sur des problèmes sociaux plutôt que sur l'aide à apporter. Certaines tâches pourront s'avérer trop difficiles à coordonner avec une autre personne, et cela pourra être particulièrement vrai chez les jeunes enfants"*. Les difficultés sont aggravées parce que nous manquons de cadres efficaces pour analyser les tâches pratiques en ce qui concerne leurs exigences pour les apprenants, notamment au plan cognitif. Dans un compte-rendu de travaux sur l'analyse de la tâche de formation, Michael Gardner a identifié trois caractéristiques de ces tâches : les composantes de la performance, la structure des connaissances et les connaissances métacognitives, mais il a reconnu le succès limité obtenu jusqu'à présent dans la définition des composantes de la performance générale dans des tâches complexes, telles qu'on les rencontre dans la technologie à l'école (Gardner, 1985, p. 188). De la même façon, les voies de progression, en ce qui concerne le développement des compétences techniques en conception, restent dans une large mesure inexplorées, bien qu'on assiste à quelques tentatives dans ce domaine (Black, 1990). La dimension conative est ici d'une importance particulière et Mary Budd Rowe (1983), dans une des rares discussions de ce

sujet en rapport à l'éducation scientifique, l'a appelé "*contrôle du destin*". Ceci renvoie à la prise de conscience que les phénomènes sociaux et physiques dans le monde sont déterminés par des circonstances qui peuvent être découvertes, analysées et maîtrisées, et que les interventions pragmatiques sont dignes d'intérêt et à la portée des compétences d'individus ou de groupes. Si, comme cela semble probable, il est essentiel pour le développement des compétences pratiques d'acquérir une confiance dans sa capacité à "construire" des problèmes, à concevoir des solutions possibles et à les réaliser matériellement, alors une pédagogie "compagnonnie" permettant l'émulation et la participation guidée, quelle que soit sa forme et la difficulté à la mettre en oeuvre, s'avère nécessaire. Comme les exigences de la vie scolaire, notamment les contraintes de ressources et de responsabilité, déterminent de façon importante la pratique quotidienne des professeurs (Denscombe, 1980), les conséquences pour les structures institutionnelles doivent être examinées.

Conséquences pour les structures institutionnelles

La notion d'interaction est centrale à chacun des trois domaines de recherche passés en revue ci-dessus. L'interaction entre la science et la technique est essentielle à toute compréhension de la nature du savoir technologique ; l'interaction entre les producteurs et les consommateurs de science est un élément décisif pour expliquer comment le grand public "comprend" la science ; et l'interaction entre les apprenants et les "autres acteurs sociaux", à la fois les personnes et les contextes, est une dimension essentielle de la cognition en pratique. A l'opposé, les institutions éducatives reflètent trop souvent ces relations en termes de hiérarchie, leur structure véhiculant une vision, tout au moins implicite, de la supériorité de la compréhension scientifique sur toutes les autres formes de compréhension, et une organisation descendante et compartimentée du savoir (Gergen et Semin, 1990, p. 2). La question se pose donc de la nature des structures institutionnelles susceptibles de favoriser efficacement les relations interactives qui semblent nécessaires pour que l'éducation scientifique s'articule à la pratique et participe à un développement élargi des compétences pratiques des apprenants.

Des tentatives de transformation d'environnements éducatifs existants, entraînant la collaboration des enseignants, le partage des ressources, les horaires bloqués, des dispositions facilitant la multiplication de projets de groupes chez les élèves et un apprentissage piloté par le contexte plutôt que par la matière ont été décrites ailleurs (Mc Cormick, 1987 et 1990 ; Smith, 1989 ; Medway, 1989 ; Layton, Medway et Yeomans, 1989 ; Murray, 1990). Nous ne les reprendrons pas ici. De même, de nombreux exemples de collaboration locale entre des écoles et d'autres acteurs, y compris des sociétés industrielles, des universités et des musées, dans le but de stimuler l'éducation scientifique, même sans la lier aux compétences pratiques, ont été étudiés par Myron et Ann Atkin (1989).

Au-delà, on assiste cependant à l'émergence d'alternatives plus radicales aux structures éducatives actuelles. En Grande-Bretagne, la *Nuffield Foundation* a subventionné le développement de boutiques de science à Belfast et Liverpool. A Londres, Manchester et ailleurs, des Centres de Risques ont été créés pour mettre à disposition du public des informations objectives relatives au travail, au logement et à l'environnement. Aux États-Unis, les *Public Service Science Centres* ont été, pendant un certain temps, financés par la *National Science Foundation* (Hollander, 1984). Dès 1979, le gouvernement néerlandais s'est déclaré favorable au libre accès des groupes défavorisés à la recherche universitaire grâce à des boutiques de science. Aujourd'hui, l'université de technologie

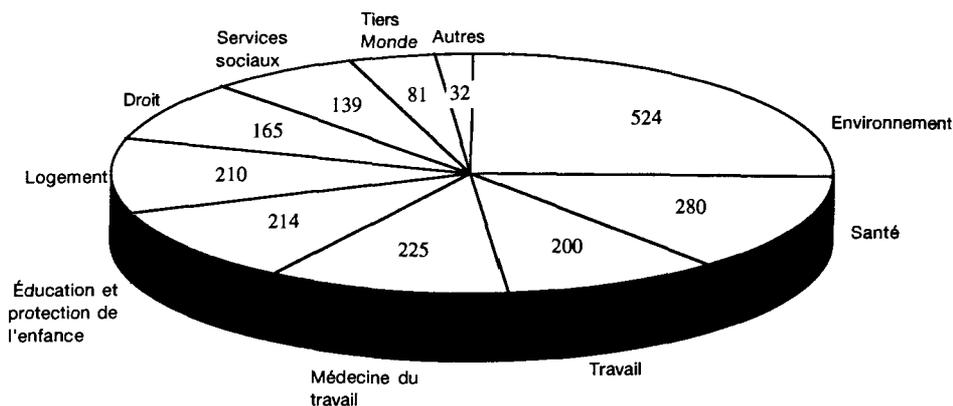


Figure 4 : Analyse de 2 070 questions posées à la boutique de science de l'université d'Amsterdam entre 1977 et 1986

d'Eindhoven dirige huit boutiques différentes de conseil en chimie, physique, architecture, santé, ingénierie mécanique, ingénierie électrique, commerce et technologie et société. Celles-ci s'adressent notamment aux "moins favorisés, y compris aux militants écologistes, aux groupes locaux, aux petites industries, aux syndicats, aux groupes d'action, aux handicapés ou aux locataires" (Eindhoven University, 1990). Une analyse de 2070 questions adressées à la première boutique de science de l'université d'Eindhoven, entre 1977 et 1986, figure dans la figure 4 (Brock, 1987).

La caractéristique des boutiques de science est que l'interaction commence par la formulation, par le client lui-même, d'un problème ou d'une question. Le choix des questions peut être ici considérable. Les questions adressées à la boutique de l'université d'Amsterdam étaient du type : quelles sont les conséquences sur l'environnement des rejets de lait occasionnés par les grèves dans l'industrie laitière ? Est-ce que les champs électromagnétiques produits par les lignes à haute tension sont nocifs ? Est-ce qu'une dramatisation de l'information favoriserait dans l'opinion une opposition plus vive à la torture des prisonniers politiques ? Est-ce que les ultraviolets utilisés pour le séchage dans l'imprimerie offset sont nocifs pour les ouvriers ? Le boutiquier agit comme un courtier en savoir, mettant des clients en relation avec des "experts" dans des universités ou ailleurs. Dans la réalité, on ne peut pas trouver de réponses "toutes faites" à toutes les questions. Environ un tiers des questions nécessitent des recherches nouvelles ou, au moins, de retravailler et compléter les résultats de recherches existantes et cela amène au problème du financement de ces boutiques. Les boutiques aux Pays-Bas sont gratuites pour les usagers mais cela n'est pas toujours le cas pour leurs équivalents dans d'autres pays. D'un point de vue éducatif, cependant, la caractéristique intéressante est la façon dont un dispositif institutionnel conduit à articuler le savoir scientifique et la pratique. Du côté de la science, cela entraîne une sorte d'atteinte à sa souveraineté quant à l'orientation de la recherche et des craintes concernant son contrôle et son intégrité. Du côté des usagers, les boutiques représentent un accès à "la tour d'ivoire" et l'occasion de rencontrer la science selon leurs propres termes et non selon ceux de la science professionnelle.

Des variantes intéressantes de ces "alternatives" apparaissent, de façon indépendante, dans les pays en voie de développement. King (1986) en a décrit quelques-unes en Inde, parmi lesquelles le *Kerala People's Science Movement* qui milite en faveur de "la science en tant qu'activisme social" et le *Medico Friends Circle* qui, après Bhopal, a réussi à intégrer les connaissances et la douleur des gens dans la description scientifique des événements. En Afrique, le *Forum on Children's Scientific and Technological Literacy*, récemment créé, a pour but d'accroître la maîtrise des gens afin qu'ils aient la capacité "d'évaluer, de contrôler et de bénéficier de l'ensemble des interventions techniques dont ils font actuellement l'objet". Un des principes de ce programme est que "les avantages potentiels n'ont des chances de se réaliser que s'ils sont fondés sur une forme de compréhension populaire de la science et de la technologie qui soit enracinée dans la culture populaire et intégrée à la pensée autochtone et aux valeurs des communautés" (Court, 1989).

Les conséquences pour la recherche

Le constat du caractère inexploré des processus d'application du savoir scientifique n'est pas un fait nouveau. Il y a plus de cinquante ans, R.S. Silver, chercheur dans l'industrie, s'est intéressé au problème de savoir par quel cheminement la science était devenue une ressource utile aux entreprises industrielles. Son souci était en partie éducatif, parce qu'il critiquait l'absence de tentative d'initier explicitement les étudiants à la façon de mener à bien la tâche "de synthétiser la science abstraite sous différentes formes expérimentelles" c'est-à-dire dans des applications technologiques singulières. Les étudiants arrivant dans le monde industriel n'avaient aucune idée sur la façon d'appliquer leurs connaissances abstraites aux problèmes qui se présentaient à eux. Certains, souvent au terme d'un délai considérable, finissaient par "découvrir" les processus d'application, "grâce à la capacité naturelle des êtres humains". Silver plaidait pour une approche formelle des processus d'application technique dans leur formation initiale (Silver, 1949).

Bien sûr, la connaissance de la nature du processus, même si elle était disponible, n'équivaut pas à savoir le mettre en œuvre en vue d'un résultat désiré et encore moins à garantir une intention d'agir. Comme Hines et Hungerford (1984, p. 127) le soulignent dans le domaine des sciences de l'environnement, "la connaissance seule, même si elle détermine étroitement toute intervention écologique responsable, ne suffit pas à prédisposer les individus à vouloir remédier aux problèmes de l'environnement". Les composantes essentielles des compétences pratiques sont conatives autant que cognitives.

Dans une perspective cognitive, cependant, comme l'a montré Staudenmaier (1985, p. 111), le défi fondamental consiste à comprendre la nature du processus par lequel, un dessein technique, au sens large, s'intègre aux contraintes spécifiques d'un contexte pour produire un résultat singulier, artefact ou action pratique. Pour l'éducation scientifique, le rôle de la connaissance et de la technique scientifique dans ce processus est une question particulièrement intéressante. Bien que de nombreux travaux aient été consacrés à la résolution de problèmes mettant en œuvre la science (Garrett, 1986), rares sont ceux portant sur des problèmes techniques ou impliquant une action pratique. La compréhension du processus et de ses caractéristiques développementales nous font défaut.

Des travaux récents effectués par des historiens de la technique en collaboration avec des psychologues spécialistes du développement cognitif peuvent apporter ici un éclairage précieux en suggérant, au moins, un cadre conceptuel

pour étudier la façon dont des élèves de niveaux scolaires différents s'engagent cognitivement dans des tâches techniques ou de conception. Dans leur interprétation de l'invention en tant que processus cognitif, Bernard Carlson et Michael Gorman (1990) distinguent trois ensembles interconnectés: des modèles mentaux, des heuristiques et des représentations mécaniques. Avec Donald Norman et d'autres chercheurs, ils considèrent les modèles mentaux comme des visualisations dynamiques, souvent incomplètes et instables qui *"peuvent être regardés mentalement"* (ibid., p. 390). Ils pensent qu'un inventeur *"possède un modèle mental qui incorpore ses hypothèses sur la façon dont un dispositif pourrait matériellement fonctionner"* (Gorman et Carlson, 1990, p. 136). A ce sujet, il faut rappeler le rejet par Wynne d'une approche en termes de modèles mentaux de la compréhension de la science par le grand public, ainsi que les phénomènes de cognition en pratique (Lave, 1988) qui suggèrent l'existence d'un processus constructif et interactif. Comme Carlson et Gorman le reconnaissent, il n'est pas possible d'acquérir des indications directes de l'existence de modèles mentaux chez les inventeurs et ceux-ci doivent être inférés de graphismes, d'artefacts et autres sources historiques. Leur conception diffère cependant des modèles stables et discrets que les chercheurs de l'université de Lancaster évoquaient, les leurs étant de nature plus variable, éphémère et adaptative.

Par heuristique, ils entendent *"les directions de recherche qu'un inventeur choisit de poursuivre, la façon dont il délègue à ses assistants une partie du travail et dont il utilise notes, modèles et graphismes"* (Carlson et Gorman, 1990, p. 392), bref, la façon dont la réalisation de la représentation est entreprise. Transposées en termes d'activités scolaires, les stratégies des élèves de technologie se retrouveraient sous cette rubrique, ainsi que leurs problèmes de relations avec les autres élèves, la division du travail dans un groupe, la procédure par laquelle les tâches sont distribuées, ainsi que les ressources en connaissances techniques disponibles. Il y a des questions intéressantes à se poser sur la perception qu'ont les élèves de ce qu'ils font et la perception qu'en ont les professeurs. La façon dont une pensée spécifique, limitée à des sous-tâches, progresse vers une pensée stratégique à un niveau méta reste dans une large mesure inexplorée (Alexander et Judy, 1988).

Bien que Carlson et Gorman appellent le troisième aspect de leur cadre d'interprétation *"les représentations mécaniques"*, on pourrait les décrire plus précisément comme des représentations matérielles car le terme est destiné à englober beaucoup plus que des dispositifs mécaniques. Ce terme désigne tout "composant" manipulé pendant l'activité de conception en vue du développement d'un produit que celui-ci soit un objet fabriqué, un environnement ou un système. Ce qui est davantage intéressant, c'est qu'il semblerait que de nombreux inventeurs reconnus se soient construit un répertoire de "représentations matérielles" qu'ils utilisent maintes et maintes fois et qui constituent une marque de leurs capacités. L'interaction caractéristique entre ces trois aspects, les modèles mentaux, les heuristiques et les représentations matérielles constitue le style d'un inventeur, d'après Carlson et Gorman.

Une invention est l'analogie technique d'une théorie en science. Le fait de considérer l'acte d'inventer comme un processus cognitif révèle des lacunes considérables dans notre compréhension du phénomène. En même temps, cela ouvre des perspectives sur une conception de l'éducation scientifique qui interagirait de façon productive avec l'enseignement technologique dans les écoles. Chacun des trois aspects du processus cognitif d'invention pourrait être influencé par ce qui est appris en cours de sciences. Les origines et les formes

de la représentation de ce qui est possible, la façon dont sont perçues les interventions dans le monde des objets fabriqués proviennent, dans une large mesure, des compréhensions du monde naturel telles qu'elles ont été mises en scène par la science. Nous ne savons pas dans quelle mesure les heuristiques, grâce auxquelles des réalisations pratiques sont effectuées, ont des caractéristiques communes avec les heuristiques de l'activité scientifique, mais le rôle des connaissances scientifiques en tant que ressources, à la fois pour la réalisation pratique de modèles mentaux et pour les représentations matérielles qui sont employées, n'est pas mis en doute, bien que, comme nous l'avons vu, des transformations soient habituellement nécessaires.

Ce qui est également tout à fait clair, c'est qu'un programme considérable de recherches reste à être engagé à l'interface de l'éducation scientifique et de la *praxis*, et notamment en ce qui concerne l'éducation scientifique et l'enseignement technologique.

David LAYTON

Université de Leeds, Grande-Bretagne

La revue Aster remercie l'auteur et la rédaction de Studies in Science Education, qui ont aimablement accordé l'autorisation de publication de cet article en français. La traduction a été assurée par Aline Espéret, avec la collaboration de Pierre Verillon.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AITKEN, H. G. J. (1978) Science, technology and economics : the study of radio as a case study, in W. Krohn, E. T. Layton Jr. and P. Weingart (eds) *The dynamics of science and technology*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, pp. 89-111.
- AITKEN, H. G. J. (1985) *Syntony and spark. The origins of radio*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- ALEXANDER, P. A. and JUDY, J. E. (1988) The interaction of domain-specific and strategic knowledge in academic performance, *Review of Educational Research*, volume 58, number 4, pp. 375-404.
- ATKIN, J. M. and ATKIN, A. (1989) *Improving science education through local alliances. A report to the Carnegie Corporation of New York*, Network Publications, Santa Cruz, CA.
- BACON, F. (1905) *The philosophical works of Francis Bacon*. Reprinted from the texts and translations of Ellis and Spedding. Edited by J. M. Robertson. G. Routledge and Sons, London.
- BARNES, B. (1982) The science-technology relationship : a model and a query, *Social Studies of Science*, volume 12, pp. 166-72.
- BLACK, P. (1990) Implementing technology in the National Curriculum, in *Technology in the National Curriculum, Key issues in implementation*, The Standing Conference on Schools' Science and Technology and DATA, London.

BÖHME, G., VAN DER DAELE, W. and KROHN, W. (1978) The 'scientification' of technology, in W. Krohn, E. T. Layton Jr. and P. Weingart (eds) *The dynamics of science and technology*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, pp. 219-50.

BOLTON, N. (1987) Technology across the curriculum, in *Technology Education Project. Paper I*. Papers submitted to the Consultation held on 15 and 16 November 1985, St. William's Foundation, 5 College Street, York, YO1 2JF.

BROCK, R. M. (1987) Pragmatism replaces revolutionary ardour. Science shops ten years on ; now a feature of the landscape, *Science Policy in the Netherlands*, volume 9, number 5, pp. 9-10.

BUCHANAN, R. A. (1986) Education or training ? The dilemma of British engineering in the 19th. century, in M. Kranzberg (ed.) *Technological education – technological style*, San Francisco Press, San Francisco, pp. 69-73.

BUD, R. F. and ROBERTS, G. K. (1984) *Science versus practice*. Manchester University Press, Manchester.

CALDERHEAD, J. (1988) The development of knowledge structures to teach, in J. Calderhead (ed.) *Teachers' professional learning*, Falmer Press, London, pp. 51-64.

CARDWELL, D. S. L. (1972a) *Technology, science and history*, Heinemann, London.

CARDWELL, D. S. L. (1972b) *The organisation of science in England*, revised edition, Heinemann, London.

CARLSON, W. B. and GORMAN, M. E. (1990) Understanding invention as a cognitive process. The case of Thomas Edison and early motion pictures, 1888-91, *Social Studies of Science*, volume 20, pp. 387-430.

CHANNELL, D. E. (1982) The harmony of theory and practice : the engineering science of W. J. M. Rankine, *Technology and Culture*, volume 23, pp. 39-52.

CLOVER, C. (1990) Heating takes a beating around the home, *The Daily Telegraph*, 23 July 1990, p. 17.

CONSTANT, E. W. (1980) *The origins of the turbojet revolution*, John Hopkins University Press, Baltimore.

COURT, D. (1989) Forum on children's scientific and technological literacy, *Studies in Science Education*, volume 17, pp. 123-25.

DENSCOMBE, M. (1980) The work context of teaching. An analytical framework for the study of teachers in classrooms, *British Journal of Sociology of Education*, volume 1, number 3, pp. 279-92.

DEWEY, J. (1946) The challenge of democracy to education, in *Problems of Man*, Philosophical Library, New York.

DORNBERGER, W. R. (1963) The German V-2, *Technology and Culture*, volume 4, pp. 393-409.

DRIVER, R. (1988) Restructuring the science curriculum : some implications of studies of learning for curriculum development, in D. Layton (ed.) *Innovations in science and technology education*, volume 2, Unesco, Paris, pp. 59-84.

DURANT, J., EVANS, G. and THOMAS, G. (1989) The public understanding of science, *Nature*, volume 340, pp. 11-14.

DURBIN, P. T. (1989) History and philosophy of technology : tensions and complementarities, in S. H. Cutcliffe and R. C. Post (eds.) *In Context. History and the history of technology*, Lehigh University Press, Bethlehem : Associated University Press, London, pp. 120-32.

EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (1990) *For you too !* Pamphlet describing the work of the consultant shops. Consultancy Shops Bureau, Eindhoven University of Technology, P.O. Box 513, 5600 MB Eindhoven, The Netherlands.

ESRC (Economic and Social Research Council) (1990) *Social sciences*. News from ESRC, Issue 5, pp. 4-5.

FENSHAM, P. J. (1991) Science and technology education. A review of curriculum in these fields, in P. W. Jackson (ed.) *Handbook of Research on Curriculum 1991*, American Educational Research Association, Macmillan, New York.

Financial times (1990) Nuclear power stations : report of a standard scale for reporting nuclear accidents, 17 May 1990, p.9.

GARDNER, M. K. (1985) Cognitive psychological approaches to instrumental task analysis, in E. W. Gordon (ed.) *Review of Research in Education*, volume 12, American Educational Research Association, Washington, pp. 157-195.

GARRETT, R. M. (1986) Problem solving in science education, *Studies in Science Education*, volume 13, pp. 70-95.

GERGEN, K. J. and SEMIN, G. R. (1991) Everyday understanding in science and daily life, in G. R. Semin and K. J. Gergen (eds.) *Everyday understanding. Social and scientific implications*, Sage Publications, London, pp. 1-18.

GILLE, B. (1964) *Les ingénieurs de la Renaissance*, Hermann, Paris.

GORMAN, M. E. and CARLSON, W. B. (1990) Interpreting invention as a cognitive process : the case of Alexander Graham Bell, Thomas Edison and the telephone, *Science, Technology and Human Values*, volume 15, number 2, pp. 131-64.

GROSSMAN, P. L., WILSON, S. M. and SHULMAN, L. S. (1989) Teachers of substance : subject matter knowledge for teaching, in M. C. Reynolds (ed.) *Knowledge base for the beginning teacher*, Pergamon Press (for the American Association of Colleges of Teacher Education), Oxford.

HERSCHEL, J. F. W. (1830) *Preliminary discourse on the study of natural philosophy* (new edition), Longman, London.

HEWSON, P. W. and HEWSON, M. G. A'B (1988) An appropriate conception of teaching science, *Science Education*, volume 72, number 5, pp. 597-614.

HINES, J. M. and HUNGERFORD, H. R. (1984) Environmental education. Research related to environmental action skills, in L. A. Iozzi (ed.) *Summary of research in environmental education 1971-82*. Monographs in environmental education and environmental studies, volume 2. ERIC Clearing House for Science, Maths and Environmental Education, Columbus, Ohio. ED259879.

- HOLLANDER, R. (1984) Institutionalizing public service science : its perils and promise, in J. C. Petersen (ed.) *Citizen participation in science policy*, University of Massachusetts Press, Amherst, pp. 75-95.
- HOLZNER, B. and MARX, J. H. (1979) *Knowledge application. The knowledge system in society*, Allyn and Bacon Inc., Boston and London.
- HUGHES, T. P. (1983) *Networks of power. Electrification in Western Society 1880-1930*, John Hopkins University Press, Baltimore.
- HUNT, B. J. (1983) 'Practice vs. Theory'. The British electrical debate, 1888-1891, *Isis*, volume 74, pp. 341-55.
- IRWIN, A. and JUPP, A. (1990) Science and everyday life : a study of the public understanding of hazard issues. Unpublished paper.
- JAYANTA, B. and VANDANA, S. (1984) The legitimacy of people's participation in the formulation of science and technology policy : some lessons from the Indian experience, in J. C. Petersen (ed.) *Citizen participation in science policy*, University of Massachusetts Press, Amherst, pp. 96-106.
- JOHN-STEINER, V. (1985) *Notebooks of the mind : explorations in thinking*, University of New Mexico Press, Albuquerque.
- JONAS, H. (1983) *The imperative of responsibility. In search of an ethics for the technological age*, University of Chicago Press, Chicago and London.
- JONSEN, A. R. and TOULMIN, S. (1988) *The abuse of casuistry. A history of moral reasoning*. University of California Press, Berkeley and London.
- KELLER, A. (1984) Has science created technology ? *Minerva*, volume 22, pp. 160-82.
- KING, K. (1986) Mapping the environment of science in India, *Studies in Science Education*, volume 13, pp. 53-69.
- KLEMM, F. (1959) *A history of western technology*, Allen and Unwin, London.
- KLINE, R. (1987) Science and engineering theory in the invention and development of the induction motor, 1880-1900, *Technology and Culture*, volume 28, pp. 283-313.
- KROES, P. (1990) The role of design in engineering theory. Paper read at the International Conference on Technological Development and Science in the 19th and 20th centuries, University of Technology, Eindhoven, the Netherlands, 7 November, 1990.
- KUHN, T. S. (1962) *The structure of scientific revolutions*, University of Chicago Press, Chicago.
- LAETSCH, W. M. (1987) A basis for better public understanding of science, in D. Evered and M. O'Connor (eds.) *Communicating science to the public*, John Wiley and Sons, Chichester, New York, pp. 1-10.
- LATOURE, B. (1990) Are we talking about skills or about the redistribution of skills ? Abstract of paper delivered at a conference on Rediscovering Skill in Science, Technology and Medicine, 14-17 September 1990, University of Bath.

LAVE, J. (1988) *Cognition in practice. Mind, mathematics and culture in everyday life*, Cambridge University Press, Cambridge, New York.

LAYTON, D. (1973) *Science for the people. The origins of the school science curriculum in England*, Allen and Unwin, London.

LAYTON, D. (1975) *Science or Education ?* The University of Leeds Review, volume 18, pp. 81-105.

LAYTON, D. (1981) The schooling of science in England, 1854-1939, in R. Macleod and P. Collins (eds.) *The Parliament of Science. The British Association for the Advancement of Science, 1831-1981*, Science Reviews Ltd., Northwood, Middlesex, pp. 188-210.

LAYTON, D. (1986) Empowerment of people, the educational challenge of science for specific social purpose (SSSP), *Bulletin of Science, Technology and Society*, volume 6, number 2 and 3, pp. 210-18

LAYTON, D. (1990a) Student Laboratory practice and the history and philosophy of science, in E. Hegarty-Hazel (ed.) *The student laboratory and the science curriculum*, Routledge, London and New York, pp. 37-59.

LAYTON, D. (1990b) Science education and the new vocationalism, in E. W. Jenkins (ed.) *Policy issues and school science education*, Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, Leeds, pp. 52-62.

LAYTON, D., DAVEY, A. and JENKINS, E. (1986) Science for specific social purposes (SSSP). Perspectives on adult scientific literacy, *Studies in Science Education*, volume 13, pp. 27-52.

LAYTON, D., JENKINS, E., MACGIL, S. and DAVEY, A. (1983) *Inarticulate Science ? Perspectives on public understanding of science and some implications for science education*, Studies in Education Ltd, Nafferton, Driffield, East Yorkshire.

LAYTON, D., MEDWAY, P. and YEOMANS, D. (1989) *Technology in TVE1 14-18. The range of practice*, The Training Agency, Moorfoot, Sheffield, S14PQ.

LAYTON, E. (1971) Mirror-image twins. Communities of science and technology in nineteenth century America, *Technology and Culture*, volume 12, pp. 562-80.

LAYTON, E. (1977) Conditions of technological development, in I. Spiegel-Rösing and D. de Solla Price (eds.) *Science, technology and society. A cross-disciplinary perspective*, Sage Publications, London, pp. 197-222.

LAYTON, E. (1987) Through the looking glass, or news from Lake Mirror Image, *Technology and Culture*, volume 28, pp. 594-607.

LAYTON, E. (1990) The nature of technological knowledge. Paper read at the International Conference on Technological Development and Science in the 19th and 20th centuries, University of Technology, Eindhoven, the Netherlands, 7 November 1990.

LEVY, E. (1989) Judgement and policy : the two-step in mandated science and technology, in P. T. Durbin (ed.) *Philosophy of technology : practical, historical and other dimensions*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 41-59.

MACGILL, S. M. (1987) *The politics of anxiety : Sellafield's cancer-link controversy*, Pion, London.

MARA, D. (1983) The works and days of sanitation, *University of Leeds Review*, volume 26, pp. 45-57.

MARTIN, B., KASS, H. and BROUWER, W. (1990) Authentic science : a diversity of meanings, *Science Education*, volume 74, number 5, pp. 541-54.

MAYR, O. (1976) The science-technology relationship as a historiographic problem, *Technology and Culture*, volume 17, pp. 663-73.

McCORMICK, R. (1987) *Technological education*, The Open University Press, Milton Keynes, (and other course materials for ET887/897 Teaching and Learning Technology in Schools).

McCORMICK, R. (1990) The evolution of current practice in technology education. Paper prepared for the NATO Advanced Research Workshop : Integrating Advanced Technology into Technology Education, 8-12 October 1990, Eindhoven.

MEDWAY, P. (1989) Issues in the theory and practice of technology education, *Studies in Science Education*, volume 16, pp. 1-24.

MILLAR, R. and WYNNE, B. (1988) Public understanding of science : from contents to process, *International Journal of Science Education*, volume 10, number 4, pp. 388-98.

MILLER, J. D. (1987) Scientific literacy in the United States, in D. Evered and M. O'Connor (eds.) *Communicating science to the public*, John Wiley and Sons, Chichester, New York, pp. 19-37.

MILLER, W. A. (1857) Report of the President and Council, *Quarterly Journal of the Chemical Society*, volume 10, pp. 180-91.

MURRAY, R. (ed.) (1990) *Managing design and technology in the National Curriculum : a co-ordinated approach*, Heinemann, London.

NYIRI, J. C. and SMITH, B. (eds.) (1988) *Practical knowledge. Outline of a theory of traditions and skills*, Croom Helm, London.

PÉREZ-RAMOS, A. (1988) *Francis Bacon's idea of science and the maker's knowledge tradition*, Clarendon Press, Oxford.

RANKINE, W. J. M. (1857) *The science of engineering*, Griffin, London.

RANKINE, W. J. M. (1872) *A manual of applied mechanics*, sixth edition, Griffin, London.

RAVETZ, J. R. (1985) The methodology of citizen's science. Unpublished paper.

ROGOFF, B. (1990) *Apprenticeship in thinking. Cognitive development in social context*, Oxford University Press, Oxford.

ROGOFF, B. and LAVE, J. (eds.) (1984) *Everyday cognition : its development in social context*, Harvard University Press, Cambridge, MA.

- ROUSE, J. (1987) *Knowledge and power. Towards a political philosophy of science*, Cornell University Press, Ithaca and London.
- ROWE, M. B. (1983) Science education : a framework for decision-making. *Daedalus*, volume 112, number 2, pp. 123-42.
- ROYAL SOCIETY (1985) *The public understanding of science*, The Royal Society, London.
- RUSSELL, C. (1983) *Science and social change 1700-1900*, Macmillan, London.
- SCHON, D. A. (1983) *The reflective practitioner. How professionals think in action*, Temple Smith, London.
- SCHON, D. A. (1987) *Educating the reflective practitioner*, Jossey-Bass Publishers, San Francisco.
- SEMIN, G. R; and GERGEN, K. J. (eds.) (1990) *Everyday understanding. Social and scientific implications*, Sage Publications, London.
- SHORTLAND, M. (1987) Networks of attitudes and beliefs. Science and the adult student, *Science Literacy Papers*, Issue 1, pp. 37-66.
- SILVER, R. S. (1949) Commentary : Philosophy of Applied Science, *Research. A Journal of Science and its Applications*, volume 2, number 4, pp. 149-53.
- SINGER, P. (ed.) (1985) *In defense of animals*, Blackwell, Oxford.
- SINGER, P. (ed.) (1986) *Applied ethics*, Oxford University Press, Oxford.
- SINGER, P. (1990) *Embryo experimentation*, Cambridge University Press, Cambridge.
- SKOLIMOWSKI, H. (1966) The structure of thinking in technology, *Technology and Culture*, volume 7, pp. 371-83.
- SMITH, J. S. (ed.) (1989) *DATER 88. Proceedings of the first national conference in design and technology educational research and curriculum development*. Longman Group Resources Unit, Loughborough University of Technology.
- STAUDENMAIER, J. M. (1985) *Technology's storytellers. Reweaving the human fabric*, Society for the History of Technology and the M.I.T. Press, Cambridge, Mass. and London.
- STERN, P. C. and ARONSON, E. (eds.) (1984) *Energy use. The Human Dimension*, W. H. Freeman & Co., New York.
- THACKRAY, A. (1976) Discussion of the paper by Robert Multhauf, *Technology and Culture*, volume 17, p. 645.
- THOMAS, G. and DURANT, J. (1987) Why should we promote the public understanding of science ? *Science Literacy Papers*, Issue 1, pp. 1-14.
- TRAVIS, A. S. (1990) Perkin's mauve : ancestor of the organic chemical industry, *Technology and Culture*, volume 31, pp. 51-82.
- VINCENTI, W. (1982) Control-volume analysis : a difference in thinking between engineering and physics, *Technology and Culture*, volume 23, pp. 145-74.

WEINGART, P. (1978) The relation between science and technology – a sociological explanation, in W. Krohn, E. T. Layton Jr. and P. Weingart (eds.) *The dynamics of science and technology*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, pp. 251-86.

WHEWELL, W. (1834) Address to the meeting, in British Association for the Advancement of Science, *Report 1833*, John Murray, London, pp. xi-xxvi.

WILSON, S., SHULMAN, L. and RICHERT, A. E. (1987) '150 different way' of knowing : representation of knowledge in teaching, in J. Calderhead (ed.) *Exploring teachers' thinking*, Cassell, London.

WYNNE, B. (1988) Unruly technology : practical rules, impractical discourses and public understanding, *Social Studies of Science*, volume 18, pp. 147-67.

WYNNE, B. (1990) Knowledges in context. Background paper from five projects. Unpublished paper presented at the Science Policy Group Dissemination Session, April 1990.

WYNNE, B., PAYNE J. J. and WAKEFORD, J. R. (1990) End of Award Report. Unpublished. Award Reference Number : AO9250008. Economic and Social Research Council.

LES MODÈLES DES ÉLÈVES SUR LA PRESSION ET LEURS IMPLICATIONS POUR L'ENSEIGNEMENT

Pupils' pressure models and their implications for instruction.
Research in Science and Technological Education, 1993, 11, 1, 95-108,
Carfax Publishing Ltd

Petros Kariotoglou
Dimitris Psillos

Dans cet article, nous étudions l'idée que les élèves se font des fluides et en particulier des liquides en équilibre, par rapport au concept de pression. Cette étude a été effectuée à deux niveaux. Lors d'une enquête approfondie, nous avons conduit des entretiens semi-structurés avec des élèves grecs de 13-14 ans ayant reçu un premier enseignement au sujet de cette question. Les résultats ont été mis à l'épreuve dans une seconde étude sur le point de vue des élèves utilisant un questionnaire écrit. A partir des réponses des élèves, nous avons défini plusieurs modèles mentaux qui, d'après nous, sont utilisés par les élèves pour comprendre les liquides en équilibre. Dans le premier, appelé "Modèle de la foule", la densité des liquides est considérée comme non constante. Dans le second, appelé "Modèle de la force de pression", les caractéristiques de la pression et des forces pressantes sont mélangées. Dans le troisième, appelé "Modèle de la liquidité", la pression est assignée en un point plutôt qu'elle ne s'exerce sur une surface. Les implications des modèles ci-dessus pour un enseignement introductif sur les liquides font également l'objet d'une discussion.

INTRODUCTION

Notre expérience quotidienne est en étroite relation avec les liquides et les gaz ; ainsi, nous vivons dans un mélange de gaz. Dans l'enseignement secondaire obligatoire, en Grèce et ailleurs, les phénomènes correspondants sont souvent intégrés aux matières scientifiques, notamment dans le chapitre de la mécanique des fluides (statiques ou dynamiques). Le contenu de cet enseignement se centre sur plusieurs caractéristiques de la pression, dans la mesure où ce concept est primordial dans la modélisation scientifique des phénomènes relatifs aux fluides.

Malgré l'importance sociale et éducative du champ des fluides, rares sont les études dans ce domaine, contrairement à ce qui se passe dans d'autres, qui se sont centrées sur le contenu et la structure des conceptions des élèves au sujet des phénomènes relatifs aux fluides et, en particulier, sur les significations qu'ils donnent à la pression. Séré (1982) a constaté que, dans le domaine des gaz, les élèves associaient la pression au mouvement, les situations d'équilibre étant alors considérées comme résultant d'un manque de pression plutôt que de la compensation des forces pressantes résultantes. Les études dans le

domaine des liquides sous-entendent que les phénomènes statiques et quasi-statiques sont interprétés en utilisant une notion de "pression" dont les caractéristiques sont un mélange de points de vue à la fois intuitifs et tirés de l'enseignement sur ce sujet.

Mayer (1987) a constaté que, pour plusieurs apprenants dans son étude, avant et après enseignement, la "pression" de l'eau est "une force" ou "un poids". Les caractéristiques assignées à la pression ont été étudiées par Engel & Driver (1985) qui ont constaté que, dans les conceptions des élèves, la "pression" est, de préférence, dirigée vers le bas et, comme attendu intuitivement, augmente avec la profondeur. Ces résultats sont confortés par une autre étude (Giese, 1987). Résultat intéressant constaté dans l'étude d'Engel & Driver : 40% des élèves pensent que la valeur de la "pression" augmente avec le volume total de liquide. Koliopoulos et al. (1986) ont observé que, alors que les élèves établissent un rapport entre pression et profondeur, le pourcentage de réponses justes chute considérablement pour des tâches plus complexes telles que, par exemple, celles qui impliquent des plongeurs sous des bateaux. De même, lorsque les élèves comparent des pressions au fond de récipients étroits à des pressions au fond de récipients larges, les réponses correctes diminuent considérablement.

Les études mentionnées ci-dessus révèlent plusieurs aspects des connaissances préalables des élèves au sujet des liquides et de la pression ainsi que de leurs difficultés conceptuelles à comprendre les faits scientifiques dans ce champ. Un aspect essentiel de ces difficultés est la confusion que font les élèves entre pression et force, question effleurée mais non traitée en détail par les chercheurs. Toutefois, la confusion entre force et pression n'est pas réservée aux élèves dans la compréhension de ce couple de concepts. Des expressions et des raisonnements qui attribuent à la pression des caractéristiques de la force, inexacts par rapport au modèle scientifique des fluides, ont récemment été relevés dans plusieurs manuels de base (McClelland, 1987).

Kariotoglou et al. (1990) ont en outre examiné la transposition à laquelle plusieurs manuels s'essaient au sujet du concept de pression, montrant que la pression était présentée, soit comme une "contrainte", autrement dit une force distribuée par unité de surface, soit comme une quantité scalaire. Les chercheurs faisaient valoir que des expressions communément utilisées dans les manuels, telles que "exerce une pression" et "a une pression" dénotent des significations différentes de la pression et sont respectivement en rapport avec le modèle "contrainte" et le modèle scalaire de pression, eu égard aux liquides en équilibre. Cette étude implique que les recherches ultérieures, cherchant à modéliser les conceptions des élèves au sujet des liquides et de la pression, étudient soigneusement les significations que de telles expressions ont pour ces élèves.

Aussi bien du point de vue de l'enseignement que du point de vue de l'apprentissage, l'utilisation appropriée des termes force et pression est essentielle dans la statique des liquides. Nous considérons que les conceptions des élèves dans ce domaine devraient être étudiées systématiquement au niveau du rapport qu'ils établissent et des distinctions qu'ils font entre force et pression (Kariotoglou et al., 1989). C'est pourquoi nous avons décidé d'étudier plus avant les caractéristiques vectorielles et scalaires repérables dans les conceptions des élèves par rapport aux liquides en équilibre. En plus des résultats descriptifs, nous distinguerons plusieurs modèles mentaux qui nous paraissent utilisés par les élèves dans ce domaine. Les caractéristiques de ces modèles sont examinées en détail, de même que leur fréquence d'apparition.

L'ÉTUDE

Cette étude fait partie d'un projet visant l'élaboration des connaissances chez les élèves de la scolarité obligatoire dans le domaine de la mécanique des fluides. L'étude particulière dont il est fait état en détail ici a été réalisée en deux phases et se centrait sur les conceptions des élèves immédiatement après un enseignement sur la statique des fluides. Une enquête en profondeur a d'abord été réalisée sur un petit échantillon d'élèves. Les résultats de cette phase ont été utilisés pour modéliser les connaissances des élèves au sujet de la pression. Puis, la validité et la fréquence d'utilisation de ces modèles par les élèves lors de l'interprétation des phénomènes ont été examinées dans une étude à grande échelle.

Les sujets

Les sujets de cette étude étaient des élèves de la classe 2 du lycée (13-14 ans), qui fait partie en Grèce de l'enseignement secondaire obligatoire. Ils avaient déjà reçu pendant un an un enseignement spécifique de physique incluant la mécanique des fluides. On leur avait enseigné que le modèle physique de la pression comprenait les éléments suivants : la pression est définie comme une force (verticale) répartie par unité de surface ; la pression P en un point à la profondeur h à l'intérieur d'un liquide se calcule selon la formule $P = \epsilon \cdot h$ (où ϵ est la gravité spécifique du liquide ; cette formule est utilisée dans le manuel scolaire officiel grec, au lieu de la formule correspondante $P = \rho gh$, où ρ est la masse volumique du liquide) ; toute surface en contact avec un liquide subit une force pressante exercée par le liquide perpendiculairement à la surface ($F = P \cdot S$: pression multipliée par l'aire) ; enfin, le principe de Pascal.

Les tâches

Les tâches présentées aux élèves sont représentées dans la Figure 1. Toutes les tâches font référence à la statique des liquides, qui est le champ expérimental de l'enseignement. Selon le modèle scientifique, les pressions aux points considérés dans les trois premières tâches sont égales, du fait que la distance entre ces points et la surface du liquide est la même et si on suppose que les liquides ont la même densité. La nature du rapport, pour les élèves, entre force pressante et pression est étudiée en comparant des pressions dans des récipients de surfaces différentes. Dans ce contexte, nous avons également étudié la compréhension, par les élèves, de la pression comme une force par unité de surface ($P = F/S$). Cette formule implique que pression et surface soient des quantités inversement proportionnelles, sous réserve que la force ne change pas. Dans les récipients étroits, la quantité d'eau est inférieure à celle qui se trouve dans les récipients larges, d'où une modification de la force, confondue pour les élèves avec le poids. Si les élèves ne prennent pas en compte une telle variation de force entre les récipients, ils peuvent conclure que la pression est plus élevée dans les récipients étroits. Inversement, si les élèves ne tiennent pas compte de la différence de surface, et ne considèrent que la modification au niveau de la quantité d'eau, et, par voie de conséquence, de la force exercée, ils peuvent alors en déduire que la pression dans les grands récipients est plus élevée que dans les récipients étroits.

La signification que les élèves assignent à la pression est étudiée et validée en changeant le contexte des questions dans les tâches. Dans les tâches 1 et 2, les

réceptifs sont les mêmes mais, dans la tâche 2, on a introduit un poisson. Cela permet de voir si la présence d'un corps à l'intérieur d'un liquide influence le point de vue des élèves sur la pression en ce point. Une seconde modification concerne les réceptifs eux-mêmes. Dans les tâches 1 et 2, ceux-ci sont petits et "artificiels", alors que dans les tâches 3 et 4, ils sont vastes et "naturels". Cela permet, cette fois, de considérer l'influence possible du type de réceptif sur l'appréhension de la pression. La tâche 4 est plus complexe et pourrait être interprétée soit en établissant simplement un rapport entre pression et profondeur, soit en appliquant le principe de Pascal.

Enfin, dans toutes les tâches, nous nous centrons sur les significations que les élèves assignent aux expressions "avoir de la pression" et "exercer une pression". Les données préliminaires indiquaient que plusieurs élèves utilisent l'expression "a de la pression" pour laisser entendre une propriété du liquide. Au contraire, l'expression "exerce une pression" implique une action du liquide sur un corps en contact avec lui.

L'enquête approfondie

Les données de l'étude approfondie sur les points de vue des élèves proviennent d'entretiens individuels semi-directifs. L'échantillon comprenait 10 élèves (garçons et filles) sélectionnés à partir d'un groupe de 120 élèves de la classe 2 du lycée. Les entretiens ont été réalisés immédiatement après un enseignement dans le domaine de la mécanique des fluides (statiques). Les tâches étaient présentées aux élèves sous forme écrite. Dans la discussion qui suivait, l'intervieweur demandait à chaque interviewé(e) de raisonner tout haut, de clarifier ses réponses, etc. Tous les entretiens ont été enregistrés au magnétophone.

Le questionnaire

Les points de vue des élèves au sujet de la pression dans les liquides ont également été étudiés à l'aide d'un questionnaire écrit comprenant toutes les tâches mentionnées ci-dessus, afin d'examiner l'apparition, chez les élèves, et la fréquence d'utilisation, par ces derniers, des modèles de pression. L'échantillon de cette étude comprenait 214 élèves (garçons et filles), sélectionnés à partir d'un échantillon représentatif de 9 écoles disséminées dans trois régions de Grèce. Dans chacune de ces écoles, il y avait plusieurs classes 2. Le test a été donné à une classe de chaque école, choisie comme étant d'un niveau moyen d'après les professeurs.

RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE APPROFONDIE

Dans cette partie, nous donnons les résultats des entretiens, à deux niveaux. Nous commençons par présenter les réponses individuelles dans les tâches proposées, suivies d'une analyse approfondie et d'une modélisation, prenant en compte tant les élèves que les tâches.

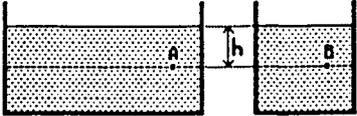
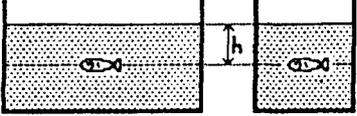
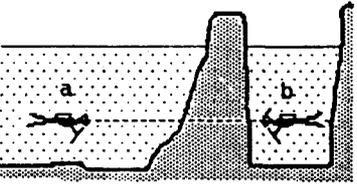
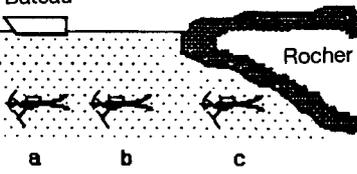
| | |
|---|---|
| <p>TÂCHE 1</p>  | <p>a) En quel point, A ou B, la pression est-elle plus grande ? Ou les pressions sont-elles les mêmes ?</p> <p>b) Si je dis “le point A a de la pression” au lieu de “il y a de la pression au point A”, cela fait-il une différence quelconque pour vous et pourquoi ?</p> <p>c) Si je dis “la pression est exercée au point A” au lieu de “le point A a de la pression”, cela fait-il une différence quelconque pour vous et pourquoi ?</p> <p>d) Si les pressions sont les mêmes, qu’est-ce qui n’est pas significatif pour elles, la quantité d’eau ou la largeur des récipients ? Pourquoi ?</p> |
| <p>TÂCHE 2</p>  | <p>a) La pression en un point sur le dos du poisson [a] est plus grande, plus petite ou égale à la pression en un point sur le dos du poisson [b] ? Pourquoi ?</p> <p>b) Puis-je utiliser l’expression “la pression qu’a le poisson [a]” ou “la pression qu’il y a sur le poisson [a]” ? Pourquoi ?</p> <p>c) Si les pressions sont égales, qu’est-ce qui n’est pas significatif, la quantité d’eau, la largeur des récipients ou la quantité d’eau sur les côtés des poissons ?</p> |
| <p>TÂCHE 3</p>  | <p>a) Comparez les pressions en un point du dos des plongeurs [a] et [b]. Considérez que le puits contient de l’eau de mer.</p> <p>b) Si les plongeurs sortaient de l’eau, y aurait-il de la pression en leur position d’origine ? - aurait-elle la même valeur qu’auparavant ? - Le rapport des pressions entre les points [a] et [b] resterait-il le même ?</p> <p>c) Si les pressions [a] et [b] sont les mêmes, qu’est-ce qui n’est pas significatif : la surface de l’eau, sa quantité, ou la quantité d’eau sur les côtés des plongeurs ?</p> |
| <p>TÂCHE 4</p>  | <p>a) Comparez les pressions en un point du dos des plongeurs [a], [b] et [c].</p> <p>b) Si les plongeurs sortaient de l’eau, y aurait-il une pression quelconque en leur position d’origine ? Le rapport entre les pressions serait-il le même ?</p> <p>c) Pourquoi dites-vous lorsque des plongeurs sont présents que la pression “est exercée” et lorsqu’il n’y en a pas qu’“il y a” de la pression ou “a de la pression” ? Existe-t-il une différence entre “est exercée” ou “a” ? Qu’est-ce qui est nécessaire pour que “a” devienne “est exercée” ?</p> |

Figure 1. Résumé des tâches de l’interview

Les réponses des élèves dans les tâches proposées

Comme on peut le voir dans le Tableau I, seul un élève a fourni des réponses correctes. Au départ, elles ne l'étaient pas, mais il les a modifiées au cours de l'entretien. Cet élève, tout en répondant aux tâches 1, 2 et 3, a déclaré que $P_l > P_e$ et a justifié son point de vue en disant que l'eau dans le récipient plus grand pesait plus. Nous pouvons en déduire qu'il attribuait à la pression les caractéristiques d'une force puisqu'il considérait que la pression dépend de la quantité de liquide. En discutant de la tâche 3, le même élève a changé son point de vue et déclaré que la pression en un point du dos du plongeur dans la mer était égale à la pression en un point du dos du plongeur dans le puits ($P_{mer} = P_{puits}$) et a justifié son point de vue en déclarant : "parce qu'ils déplacent le même volume d'eau". Après le commentaire de l'interviewé selon lequel cette justification fait référence à la poussée d'Archimède, l'élève a insisté sur l'égalité des pressions (P) mais justifié celle-ci par l'égalité de profondeurs (h) et des gravités spécifiques (E). Puis il a corrigé ses précédentes réponses relatives aux tâches 1 et 2 en utilisant les mêmes justifications. Enfin, il a conclu que les pressions dans le grand et dans le petit récipient étaient égales ($P_l = P_e$).

TABLEAU I. Réponses des élèves aux tâches 1, 2, 3 et 4

| Elèves | Tâches 1, 2 : Comparaison des pressions - récipient étroit - large | Tâche 3 : Comparaison des pressions puits - mer | Tâche 4 : Comparaison des pressions trois plongeurs a, b, c |
|--------|---|---|--|
| I | $P_e > P_l$ (1) | $P_{puits} > P_{mer}$ (2) | $P_c > P_a, P_b$ (3) |
| II | $P_e < P_l$ | $P_{puits} < P_{mer}$ | $P_b > P_a, P_c$ |
| III | $P_e > P_l$ | $P_{puits} > P_{mer}$ | $P_c > P_a, P_b$ |
| IV | $P_e < P_l$ | $P_{puits} < P_{mer}$ | $P_a > P_b, P_c$ |
| V | $P_e = P_l$ (à la fin) $P_e > P_l$ | $P_{puits} = P_{mer}$ (à la fin) $P_{puits} > P_{mer}$ | $P_c > P_a, P_b$ $P_a = P_b = P_c$ (à la fin) |
| VI | $P_e = P_l$ | $P_{puits} = P_{mer}$ | $P_c > P_a > P_b$ |
| VII | $P_e > P_l$ | $P_{puits} > P_{mer}$ | $P_a = P_b = P_c$ |
| VIII | $P_e < P_l$ $P_e = P_l$ (à la fin) | $P_{puits} < P_{mer}$ $P_{puits} = P_{mer}$ (à la fin) | $P_b > P_a > P_c$ |
| IX | $P_e = P_l$ | $P_{puits} > P_{mer}$ | $P_b > P_a > P_c$ |
| X | $P_e > P_l$ | $P_{puits} > P_{mer}$ | $P_c > P_a, P_b$ |

- (1) $P_e > P_l$: la pression en un point au fond du récipient étroit est plus grande que celle en un point au fond du grand récipient ;
- (2) $P_{puits} > P_{mer}$: la pression en un point sur le dos du plongeur dans le puits est supérieure à celle exercée sur le dos du plongeur en mer ;
- (3) $P_c > P_a, P_b$: la pression en un point sur le dos du plongeur (c) est supérieure à celle exercée sur le dos des plongeurs (a) et (b).

Cinq élèves sur les dix considéraient que la pression (P) dans le récipient étroit était plus élevée que dans le récipient large, la même profondeur étant indiquée sur le dessin, et donnaient des justifications du type suivant :

Pe > Pl parce que la pression est éclatée... est distribuée dans un volume plus petit (Elève I).

... parce que le récipient est plus petit et donc elle [l'eau] est plus condensée (Elève III).

... parce qu'il a un volume plus petit et donc P est plus élevé (Elève V).

Deux élèves ont déclaré que $Pe < P_l$:

... parce que le poids de l'eau est impliqué (Elève VIII).

... parce que l'eau fait bloc et que la pression est également transmise latéralement et pas seulement verticalement (Elève II).

Ils ont même utilisé une métaphore issue de leur expérience dans la vie quotidienne :

... parce que les gens dans une petite pièce se sentent plus en sécurité et donc moins sous pression (Elève II).

L'élève VI a répondu correctement aux trois premières tâches, en utilisant la formule $P = \epsilon h$. Il semble toutefois qu'il appliquait les connaissances qui lui avaient été enseignées d'une manière plus mécanique que réfléchie. On peut le constater dans le dialogue suivant entre l'élève (E) et l'intervieweur (I) :

E : Les pressions en bas des deux récipients sont égales parce que la hauteur de l'eau dans les deux récipients est la même (Tâche 1).

E : Les pressions sur les deux poissons sont égales parce qu'ils sont à la même profondeur (Tâche 2).

I : Les densités sont-elles égales dans les deux récipients ?

E : Elle doit être plus grande dans le récipient étroit parce qu'elle [l'eau] est plus condensée.

I : En ce qui concerne les pressions - sont-elles égales ou inégales ?

E : Egales.

I : Mais puisque $P = \epsilon.h$ et les ϵ différent, comment se fait-il que les pressions soient égales ?

E : Puisque les pressions sont égales, les densités doivent l'être aussi.

Le raisonnement causal de cet élève semble être inversé ici : la cause - des densités égales impliquent des pressions égales - devient l'effet, autrement dit des pressions égales impliquent des densités égales.

Enfin, l'Elève IX a répondu correctement aux tâches 1 et 2 :

Elles [les pressions] sont égales parce qu'ils [les plongeurs] sont à la même profondeur... la quantité d'eau influence le poids et non pas la pression (Elève IX).

Mais il a considéré que la pression dans le puits était plus grande qu'en mer :

[Elle est] plus grande que dans le puits parce que c'est un espace clos... comme l'air dans un petit récipient est plus dense et a une pression plus grande (Elève IX).

Comme on peut le voir dans le Tableau I, la plupart des élèves étaient cohérents dans leurs réponses aux tâches 1, 2 et 3. Cela implique que les élèves considéraient que la présence d'un corps dans un récipient n'influence pas la pression. En outre, la taille du récipient ou le passage d'un récipient "artificiel"

à un récipient "naturel" ne modifie pas la relation des pressions à des profondeurs égales depuis la surface.

Modèles de pression

Au second niveau, nos efforts ont consisté à chercher des modèles impliquant le concept de pression et utilisés par plus d'un élève pour décrire, interpréter et prédire les phénomènes en rapport avec les liquides en équilibre. A partir des données obtenues au cours des entretiens, nous concluons qu'il est possible d'identifier trois modèles de ce type présentant des caractéristiques communes. Nous les avons appelés "modèles de pression" (MP) et les décrivons dans les paragraphes suivants. Les MP ne sont pas en rapport avec des réponses ou tâches individuelles, mais semblent être sous-jacents à la totalité d'un entretien.

Le Tableau II classe les réponses des élèves en les répartissant dans ces trois modèles. OUI indique que les réponses d'un élève étaient compatibles avec un ou plusieurs de ces modèles. NON indique que les réponses d'un élève ne pouvaient être considérées comme compatibles avec un modèle donné.

TABLEAU II. Interprétation des réponses des élèves en termes de modèles de pression

| Elèves | Modèle de la foule | Modèle de la force de pression | Modèle de la liquidité |
|--------|---|--------------------------------|------------------------|
| I | Oui (1) | Oui | Non (2) |
| II | Non | Oui | Oui. Eléments. (3) |
| III | Oui | Non | Non |
| IV | Non. Trouve le modèle plausible mais ne l'utilise pas | Oui | Oui. Après discussion |
| V | Oui. Répond en utilisant ce modèle mais le rejette | Non | Oui. Après discussion |
| VI | Non. Justification claire | Oui | Oui |
| VII | Oui | Non | Oui |
| VIII | Non. Trouve le modèle plausible mais ne l'utilise pas | Oui | Oui |
| IX | Non. L'utilise dans la tâche 3 mais le rejette | Non | Oui |
| X | Oui | Oui. Eléments | Non |

(1) *Oui* : l'élève utilise le modèle correspondant ;

(2) *Non* : aucune preuve d'utilisation du modèle correspondant ;

(3) *Eléments* : l'élève utilise seulement des éléments du modèle.

Le premier modèle a été appelé le "modèle de la foule", d'après les exemples qu'ont donnés les élèves en l'utilisant :

La pression dans le récipient large est plus faible que dans le récipient étroit ($P_1 < P_2$) parce que, si nous laissons un enfant dans une pièce étroite, il se sentira plus "pressurisé" ou plus comprimé que dans une pièce plus grande (Elève I, Tâche 2).

$P_1 < P_2$ parce que ce récipient est plus étroit et donc elle [l'eau] est plus condensée (Elève III, Tâche 1).

Il est évident que les élèves faisant appel à ce modèle, lorsqu'ils répondent à des tâches, utilisent une métaphore de l'impression qu'ils ressentent dans des environnements "étranglés", tels que le passage des portes d'un stade de football. Ils considèrent plus (comme l'Elève III) ou moins (comme l'Elève I) explicitement que la densité d'un fluide est variable.

Le second modèle a été appelé le "modèle de la force pressante" parce que les élèves y faisant appel ne font pas de distinction entre la pression et la force pressante qui en résulte :

$P_1 > P_2$ parce que le [grand] récipient a une surface plus grande et exerce une force plus élevée que dans le petit (Elève IV, Tâche 1).

La pression semble assimilée à la force que l'eau exerce, c'est-à-dire à son poids pour les élèves. Cela semble également être la réponse la plus plausible et la plus immédiate que quelqu'un fournirait lorsqu'on lui poserait cette question. C'est pourquoi la Tâche 1 a été considérée historiquement comme un paradoxe en hydrostatique.

Une direction est attribuée à la pression (latérale), ou même la possibilité d'être divisée ou distribuée, qui est une propriété des forces mais non pas des pressions :

... la pression latérale sur le poisson n'est pas significative (Elève I, Tâche 3),

... la pression est divisée - distribuée dans moins d'espace (Elève I, Tâche 1).

Le troisième modèle, le "modèle de la liquidité", est celui qui est le plus compatible avec les connaissances scientifiques dans la mesure où il semble considérer la pression comme une fonction en un point à l'intérieur du liquide (Sommerfeld, 1950) et/ou une propriété des liquides. Ce modèle est en relation avec l'utilisation correcte par les élèves de la formule $P = \rho \cdot h$ et est compatible avec l'emploi de la pression comme une quantité scalaire en physique dans le niveau secondaire, autrement dit :

Je change mon point de vue initial et je considère à présent que les pressions dans le récipient étroit et dans le récipient large sont égales dans la mesure où l'eau a la même densité et où ils ont la même profondeur (Elève IV, Tâche 3).

Les entretiens s'attachaient tout particulièrement aux différentes utilisations par les élèves d'expressions écrites ou orales en rapport avec le terme "pression" telles que : "avoir une pression" ou "il y a de la pression" et "accepte la pression" ou "exerce une pression". La fréquence d'utilisation de ces deux types d'expressions dans chaque tâche a été étudiée. Neuf élèves sur 10 font une distinction entre ces deux types d'expressions, considérant la première ("avoir une pression" ou "il y a de la pression") comme évidente en soi ou la tenant toujours pour vraie, autrement dit comme une caractéristique ou une propriété d'un point dans un liquide. Le second type d'expression, soit "une pression est exercée", est utilisé lorsqu'il y a un corps ou une surface à l'intérieur du liquide et

semble être considéré comme une conséquence de "avoir une pression" ou "il existe une pression" :

Oui, l'eau a une pression parce que celle-ci [la pression] s'exerce si nous mettons dedans une autre chose, telle qu'un poisson (Elève VI, Tâche 1).

L'expression "il y a une pression" (en un point) est compatible avec le modèle scientifique tandis que l'expression "a une pression" implique que la pression est une propriété des liquides. L'expression "une pression est exercée" est en contradiction avec le modèle scientifique mais la façon dont elle est utilisée par les élèves semble faire référence à la force de pression qu'un liquide exerce sur toute surface en contact avec lui :

Pour qu'elle [la pression] s'exerce, il faut qu'il y ait un objet (Elève II, Tâche 2).

Caractéristiques des modèles de pression

L'analyse précédente nous a amenés à identifier un ensemble de caractéristiques relatives à ces modèles. Elles sont récapitulées dans le Tableau III et décrites ci-dessous.

TABLEAU III. Caractéristiques des modèles de pression

| Éléments | "Modèle de la foule" | "Modèle de la force de pression" | "Modèle de la liquidité" |
|---|----------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 1. La densité est variable | Oui | Non | Non |
| 2. La pression a une direction | Non | Oui | Non |
| 3. La pression dépend de la quantité de liquide | — | Oui | Non |
| 4. La pression est considérée ou calculée par rapport à une surface | Oui | Oui | Non |
| 5. La pression est divisée ou partagée | Oui | Oui | Non |
| 6. La pression est exprimée par l'expression "accepte la pression" | Non | Oui | Non |
| 7. La pression est considérée comme une propriété du liquide | Non | Non | Oui |
| 8. La pression est considérée ou calculée en un point | Non | Non | Oui |
| 9. La pression est exprimée par l'expression "a une pression" | Non | Non | Oui |

(1) *Oui/Non* : la caractéristique est présente/n'est pas présente dans le modèle correspondant.

1. La densité est variable

C'est une caractéristique du "modèle de la foule". Même si l'existence de cette caractéristique dans d'autres modèles n'a pas été directement vérifiée au cours des interviews, nous prétendons que les élèves ayant recours aux autres modèles ne l'utilisent pas. Considérons, par exemple, le point de vue suivant : "Le récipient plus large contient plus d'eau, c'est pourquoi il a plus de pression". Dans ce cas, nous considérons que cet élève utilise le "modèle de la force de pression" mais qu'il considère que le récipient plus large *"contient plus d'eau mais que [cette eau] n'est pas moins dense que dans le récipient étroit"*.

2. La pression a une direction

C'est une caractéristique du "modèle de la force de pression". Les élèves recourant au "modèle de la liquidité", même s'ils ne disent pas explicitement que la pression n'a pas une direction, semblent le supposer lorsqu'ils utilisent l'expression "a une pression". Il n'existe aucune preuve qu'un élève recourant au "modèle de la foule" considère la pression comme une quantité vectorielle.

3. La pression dépend de la quantité de liquide

C'est une caractéristique du "modèle de la force de pression". Les élèves ayant recours au "modèle de la liquidité" acceptent indirectement l'idée que la pression ne dépend pas de la quantité de liquide puisqu'ils déclarent que les pressions dans le récipient large et dans le récipient étroit sont les mêmes. A l'instar des élèves recourant au "modèle de la foule", il n'existe aucune preuve qu'ils établissent, ou non, un rapport entre la pression et la quantité de liquide, puisqu'ils considèrent les liquides comme compressibles.

4. La pression est considérée ou calculée par rapport à une surface

Les élèves recourant au "modèle de la force de pression" considèrent, ou calculent, la pression comme exercée sur une surface : *"La pression qui est acceptée au fond du récipient"*. C'est également le cas des élèves ayant recours au "modèle de la foule", mais ces derniers identifient cette surface avec la "porte" à travers laquelle coule le liquide : *"La pression dans le récipient étroit est plus élevée... C'est juste comme sortir tous ensemble de la classe où nous sommes très comprimés"*. Au contraire, les élèves utilisant le "modèle de liquidité" identifient la pression en un point dans le liquide plutôt qu'à la surface : *"La pression en ce point dépend de la profondeur"*.

5. La pression est divisée ou partagée

Cette conception est soutenue par des élèves qui utilisent le "modèle de la foule" : *"La pression dans le récipient étroit est plus élevée parce que la pression est divisée..."*.

La même conception semble être également partagée par les élèves recourant au "modèle de la force de pression". Pour eux, la pression dépend de la quantité de liquide, donc si cette dernière est divisée, la même chose devrait aussi arriver à la pression. Au contraire, ceux qui utilisent le "modèle de liquidité" semblent supposer que la pression ne peut être divisée.

6. Un corps "accepte" la pression

Cette expression est considérée la plus appropriée par les élèves recourant au "modèle de la force de pression" tandis que les élèves faisant appel au "modèle de la liquidité" trouvent plus appropriée l'expression "a de la pression". Les

élèves faisant appel au "modèle de la foule" n'utilisent pas d'expressions de ce type.

7. La pression est une propriété du liquide

C'est une caractéristique du "modèle de la liquidité". Toutefois, chez les élèves faisant appel aux deux autres modèles, le concept d'interaction (ce avec quoi le liquide interagit) semble plus important que les propriétés du liquide lui-même.

8. La pression est considérée ou calculée en un point

Comme mentionné pour la quatrième caractéristique, les élèves faisant appel au "modèle de liquidité" considèrent la pression en un point dans le liquide.

9. Le liquide "a" de la pression

Comme mentionné précédemment pour la sixième caractéristique, les élèves utilisant le "modèle de la liquidité" considèrent cette expression comme la plus appropriée pour la pression, contrairement aux élèves faisant appel aux deux autres modèles.

Nous pensons que les caractéristiques décrites ci-dessus et résumées dans le Tableau III contribuent à une meilleure compréhension de la nature de ces trois modèles et fournissent un moyen permettant d'étudier de façon plus approfondie leur validité et leur utilité pour l'enseignement.

LES RÉSULTATS DU QUESTIONNAIRE

L'existence et la fréquence de l'utilisation des modèles de pression par les élèves de l'enseignement obligatoire ont été examinées dans la seconde phase de cette étude en envoyant un questionnaire écrit à un vaste échantillon. Les tâches de ce questionnaire étaient les mêmes que celles relevant de la première partie de l'interview (Cf. Fig. 1). Par exemple, la tâche 3, dans laquelle on comparait les pressions, correspondait à la tâche 3(a) de l'interview et consistait à comparer les pressions en un point sur le dos des plongeurs (a) et (b) en considérant que le puits contient de l'eau de mer.

Les résultats du questionnaire pour les tâches 1, 2 et 3 sont récapitulés dans le Tableau IV. La plupart des réponses et leur justification ont été catégorisées en référence aux trois modèles de pression. Les réponses des élèves n'ont pas permis de mettre à jour l'existence d'autres modèles. Un certain nombre de réponses, telles que "*la pression sur le poisson*" [dans le récipient large] *est plus élevée que la pression en (b)* [récipient étroit], n'ont pas pu être classées avec précision et ont donc été regroupées dans une catégorie distincte. La réponse citée ci-dessus peut relever du "modèle de la force de pression" mais dans la mesure où elle n'était pas accompagnée d'une justification du type "*parce que le récipient contient plus d'eau*", nous avons décidé de ne pas la référencer au dit modèle. Enfin, les élèves n'ayant fourni aucune réponse ou des réponses incomplètes font également l'objet d'une catégorie distincte.

TABLEAU IV. Réponses des élèves aux tâches 1, 2 et 3

| Modèles | Tâche 1 (%) | Tâche 2 (%) | Tâche 3 (%) |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| "Modèle de la foule" | 19 | 16 | 14 |
| "Modèle de la force de pression" | 27 | 29 | 21 |
| "Modèle de la liquidité" | 30 | 40 | 42 |
| Réponses non classées | 12 | 9 | 15 |
| Pas de réponse/réponse incomplète | 12 | 6 | 8 |
| Total (N=214) | 100 | 100 | 100 |

Les résultats relatifs aux trois premières tâches ont montré que 59 à 82% des réponses relevaient de l'un des trois modèles, ce qui est une indication claire de leur usage par les élèves. Pour la Tâche 4, 5% des élèves ont utilisé le "modèle de la foule" et 18% celui de la "liquidité". Ces deux pourcentages sont beaucoup plus faibles que ceux relatifs aux trois autres tâches. Toutes les autres réponses, y compris l'absence de réponse proprement dite et les réponses non classées, relèvent de diverses catégories et ne sont significatives pour aucun des trois modèles, pas plus qu'elles n'indiquent une tendance quelconque. Comme mentionné ci-dessus, la Tâche 4 faisait délibérément référence à une situation plus complexe que les trois autres tâches, pour lesquelles une distinction claire était établie entre le récipient étroit et le récipient large et où il n'y avait pas de force de piston. Les résultats relatifs à la Tâche 4 ont montré que plusieurs élèves éprouvaient des difficultés - tant de l'ordre de la perception que de la conception - à comprendre que les plongeurs étaient à une profondeur égale dans le liquide.

La pression en (b) est plus élevée parce que la profondeur est plus grande.

La pression en (c) est inférieure parce que le plongeur est sous le rocher, il est donc à une profondeur moindre.

D'autres élèves ont considéré que la transmission de la pression avait des effets localisés :

La pression en (a) est plus grande parce qu'il y a un bateau au-dessus.

C'est pourquoi nous avons considéré que, soit les élèves n'avaient pas bien compris cette tâche, soit les trois modèles sont seulement partiellement applicables à la Tâche 4. Nous n'avons donc pas inclus les résultats au Tableau IV. D'où, à présent, notre hypothèse selon laquelle les modèles de pression envisagés représentent des structures conceptuelles applicables particulièrement aux phénomènes en rapport avec les récipients dont les aires de surface sont manifestement différentes.

Comme noté dans l'introduction, la pression est utilisée par les élèves pour interpréter les liquides en équilibre mais avec des significations différentes. Peu après le cours, environ 14 à 19% des élèves ont encore en tête leur conceptualisation naïve, qui est le "modèle de la foule" non influencé par l'enseignement. Si des résultats tels que ceux-ci ne sont pas du tout surprenants pour la recherche sur les conceptions des élèves, leurs implications vont au-delà de la statique des liquides. Une propriété considérée comme fondamentale pour les liquides, autrement dit l'incompressibilité, n'a pas été comprise après enseignement.

Après enseignement, le "modèle de la force de pression" est fortement répandu mais non dominant comme il a été constaté au cours des interviews. Dans d'autres études (Kariotoglou, 1990), comprenant des post-tests différés, nous avons noté une nette tendance à l'augmentation du pourcentage des élèves utilisant ce modèle. Certaines caractéristiques de la force apparaissent également dans le "modèle de la foule", comme noté au cours de la discussion sur les caractéristiques des modèles. A partir de ces résultats, nous pouvons proposer l'hypothèse qu'un nombre considérable d'élèves attribuent les caractéristiques d'une force à la pression.

Le "modèle de la liquidité" est le plus proche du modèle scientifique bien qu'il ne coïncide pas avec lui. Comme noté précédemment, certains élèves classés dans cette catégorie répondent correctement mais quelques-uns utilisent l'expression "a de la pression", ce qui implique que la pression est une propriété des liquides. Les variations de pression sont données par la formule $P = \rho \cdot h$ et sont le résultat de l'interaction entre le liquide et le champ gravitationnel. Cependant, comme (a) la pression ne peut être définie en l'absence de tout liquide alors qu'elle peut l'être en l'absence d'un champ gravitationnel, même si c'est le même en tous les points du liquide (principe de Pascal) et (b) l'expression "le liquide a de la pression" est largement répandue dans la littérature, nous estimons que cette dernière expression devrait être considérée comme correcte à des fins d'enseignement, même si elle envisage la pression comme une propriété des liquides. C'est pourquoi nous pensons que les élèves apportant de telles réponses peuvent être considérés comme n'étant pas dans l'erreur.

CONCLUSIONS ET IMPLICATIONS POUR L'ENSEIGNEMENT

Les données obtenues au cours de cette recherche nous ont amenés à classer les conceptions des élèves en trois modèles de pression. Les résultats ont montré que ces modèles sont largement applicables pour les récipients dont les surfaces ont des aires manifestement différentes. De telles situations sont répandues dans la vie quotidienne et dans le champ de la statique des liquides mais ne couvrent certainement pas tout le champ d'applicabilité des connaissances enseignées. L'utilisation de ces modèles peut également être influencée par la complexité de la situation. A l'intérieur de ces limites, nous discuterons de la nature des modèles de pression et des implications, au niveau de l'enseignement, des résultats de la recherche.

La fréquence et la constance de l'apparition des modèles de pression, après l'enseignement traditionnel, impliquent la mise au point de stratégies spécifiques d'enseignement et d'apprentissage afin de promouvoir une réelle compréhension, par les élèves, des connaissances scientifiques relatives à la statique des liquides. Nous suggérons que ces stratégies s'alignent sur les caractéristiques distinctes de chaque modèle. Malgré leurs particularités, toutes les stratégies devraient avoir un caractère constructiviste, autrement dit reposer sur les connaissances préalables des élèves et permettre la construction de nouvelles connaissances par les élèves eux-mêmes (Watts, 1988). Nous considérons que l'articulation des propositions qui suivent en unités de programme devrait faciliter l'apprentissage de la statique des liquides ou des fluides par rapport à la situation actuelle.

Le "modèle de la foule" est une conceptualisation naïve des liquides par les élèves, construite, vraisemblablement, à partir de leurs expériences socio-per-

sonnelles, à l'aide d'une métaphore qui consiste à assimiler les personnes aux liquides. C'est une sorte de pensée animiste, souvent citée dans la littérature traitant des conceptions des élèves. En revanche, ces mêmes élèves semblent établir une relation assez peu précise entre volume et forme des liquides, considérant ainsi ces derniers comme compressibles en raison de leur capacité à changer de forme. Il est probable que les élèves ne font pas la distinction entre liquides et gaz, qui, eux, sont compressibles. L'éventualité d'une utilisation erronée de certains aspects de la théorie cinétique devrait également être exclue dans la mesure où notre échantillon n'a pas reçu d'enseignement sur ce sujet au lycée.

Le "modèle de la foule" est incompatible avec l'hypothèse de base du modèle scientifique, l'incompressibilité des liquides. Nous considérons que, dans ce cas, l'apprentissage de faits scientifiques implique une modification conceptuelle chez les élèves, qui pourrait être obtenue en restructurant leur conceptualisation naïve en vue de construire cette caractéristique fondamentale du modèle scientifique. Nous suggérons que l'enseignement au sujet des fluides comprenne des activités spécifiques, autrement dit une unité de programme distincte qui traiterait des propriétés des liquides comparées aux propriétés des solides et des gaz. La comparaison des différentes propriétés des états de la matière est souvent incluse dans les programmes mais pas toujours enseignée de façon systématique et complète. Une telle unité se centrerait sur le diagnostic des points de vue des élèves tels que le "modèle de la foule" et fournirait des preuves expérimentales d'incompressibilité des liquides. Des expériences appropriées pourraient consister en la compression et l'expansion de liquides et de gaz dans une simple seringue. Il pourrait être demandé aux élèves de comparer la compressibilité des liquides et des gaz, de conceptualiser et de discuter leurs prévisions et interprétations en classe.

Par rapport au "modèle de la foule", le "modèle de la force de pression" représente, de la part des élèves, une tentative plus "scientifique" de rendre compte des liquides en équilibre. Un examen soigneux de la terminologie utilisée, lorsqu'il est fait, révèle que certaines des idées impliquées dans ce modèle sont moins fausses que mal exprimées. L'expression "exerce une pression" est fautive car la pression n'est pas exercée mais existe en un point à l'intérieur des liquides. Ce qui est exercé est la force de pression sur une surface. Une telle confusion entre force et pression est caractéristique du "modèle de la force de pression" et peut être due à une influence de l'environnement ou à l'enseignement. Autrement dit, les effets de la pression ne sont pas directement perceptibles ou mesurables comme le sont les effets de la force de pression correspondante, par exemple la poussée d'Archimède, la déformation des membranes, etc. En fait, la pression n'est mise en évidence qu'à travers les effets de la force de pression. Le point de vue selon lequel "une grande quantité d'eau impose une pression plus forte" est fort répandu chez les non scientifiques. Un autre facteur qui influence la popularité de ce modèle pourrait bien être l'utilisation fréquente dans les manuels scolaires et dans l'enseignement ordinaire d'éléments tels que des flèches pour indiquer la pression ou des expressions telles que "la pression s'exerce" ou "accepte la pression" qui relèvent d'un modèle de la pression intégrant la contrainte (Kariotoglou et al., 1990).

Au cours de recherches récentes, on a identifié plusieurs cas où les élèves ne parvenaient pas à faire la distinction entre des concepts appariés, notamment entre chaleur et température (Wiser, 1987), poids et densité (Smith et al., 1985). Le "modèle de la force de pression" fournit une preuve indéniable que force de pression et pression forment une telle paire de concepts indifférenciés.

La pression, à l'instar de la température, est une quantité paramétrique dans un état donné, qui est définie en un point et ne dépend pas de la quantité de matière. La force de pression, à l'instar de la chaleur, est une quantité en interaction qui dépend de la quantité de matière. Par exemple, la poussée d'Archimède est un cas de force de pression dont l'amplitude dépend de la quantité de liquide déplacé. En revanche, la différence de pression entre un point à l'intérieur d'un récipient et un point à la surface dépend seulement de la hauteur de liquide situé au-dessus et non pas de sa quantité totale.

L'établissement de caractéristiques de pression acceptables scientifiquement devrait être un objectif central dans l'apprentissage conceptuel au sujet des fluides. Cela devrait impliquer de ne pas présenter la pression en rapport avec la force, comme c'est généralement le cas dans les manuels. Nous suggérons, à titre d'approche alternative, de présenter la pression aux élèves comme un concept primaire permettant de décrire et d'interpréter le comportement des liquides avant de la mettre en relation avec la force. L'apprentissage au sujet de la pression implique de différencier les caractéristiques de la force de pression et de la pression, processus qui nécessite une modification conceptuelle chez les élèves. Le recours à des tâches expérimentales, parallèlement aux deux premières tâches incluses dans les interviews présentées ici, devrait faciliter considérablement cette distinction par les élèves. Par exemple, des expérimentations appropriées devraient se concentrer sur la comparaison et l'analyse de pressions et de forces au fond de récipients étroits et de récipients larges, ce à l'aide de manomètres, et de petits et de grands pistons sur une surface. Les manuels pourraient également aider les élèves à faire cette distinction s'ils utilisaient constamment des expressions telles que "exerce une force de pression" au lieu de "exerce une pression" et si les flèches étaient éliminées pour représenter la pression. Les flèches devraient coder des forces de pression plutôt que des pressions.

Le "modèle de liquidité" est proche du modèle scientifique dans la mesure où la pression est considérée comme une fonction en un point. Ce modèle est plus abstrait que les deux autres ; en effet, considérer la pression comme une quantité paramétrique dans un état donné, n'est relié à aucun effet observable. Nous considérons que le "modèle de liquidité" résulte essentiellement de ce qui est dit aux élèves à propos des fluides. Cependant, des germes de ce modèle apparaissent dans les intuitions des élèves qui s'expriment par l'expression "a de la pression", dénotant que la pression existe dans un liquide même s'il s'agit d'un état. Dans ce cas, la pression est une propriété du liquide.

La nature des "modèles de liquidité" implique un traitement pédagogique différent de celui des autres modèles. Les élèves semblent relier l'expression "a de la pression" avec un modèle où la pression est considérée comme une propriété des liquides uniquement parce que la pression peut être définie en n'importe quel point de ce dernier. Comme mentionné ci-dessus, cette conception n'est, grosso modo, pas trop éloignée du modèle scientifique ; nous devrions donc la considérer comme une "intuition-point de départ" (Clement et al., 1989) en rapport avec le "modèle de liquidité". Cela signifie que l'enseignement dans le domaine des liquides devrait renforcer l'expression "a de la pression" et la rapporter à la pression en un point, tout en soulignant que "exerce la pression" ou "accepte la pression" est en rapport avec les forces de pression.

Petros KARIOTOGLOU

Dimitris PSILLOS

Université de Thessalonique, Grèce

La revue Aster remercie les auteurs et la rédaction de Research in Science and Technological Education, qui ont aimablement accordé l'autorisation de publication de cet article en français. La traduction a été assurée par Anne Berger, avec la collaboration de Claudine Larcher.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CLEMENT, J., BROWN, D. & ZIETSMAN, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions : finding 'anchoring conceptions' for grounding instruction on students' institutions, *International Journal of Science Education*, 11, pp. 554-565.
- ENGEL, E. & DRIVER, R. (1985). What do chilfren understand about pressure in fluids ? *Research in Science and Technological Education*, 3, pp. 133-143.
- GIESE, P. (1987). Misconceptions about water pressure, in : *Proceedings of the 2nd International Seminar*, pp. 142-148 (Ithaca, NY, Cornell).
- KARIOTOGLOU, P. (1990). A study of teaching and learning problems in the domain of fluids, *unpublished doctoral thesis*, Physics Department, University of Thessaloniki, Greece.
- KARIOTOGLOU, P., KOLIOPOULOS, D. & PSILLOS, D. (1989). A study of pupils' conceptions about fluids : the case of pressure of liquids, *Communication, 3rd EARLI Conference*, (Madrid, EARLI).
- KARIOTOGLOU, P., PSILLOS, D. & VALASSIADES, O. (1990). Understanding pressure : didactical transpositions and pupils' conceptions, *Physics Education*, 25, pp. 92-96.
- KOLIOPOULOS, D., KARIOTOGLOU, P. & PSILLOS, D. (1986). La force dans le contexte des liquides : une première approche au collège en Grèce, *Feuilles d'Epistémologie Appliquée et de Didactique des Sciences*, pp. 59-65.
- MAYER, M. (1987). Common-sense knowledge versus scientific knowledge : the case of pressure, weight and gravity, in : *Proceedings of the 2nd International Seminar*, pp. 298-310 (Ithaca, NY, Cornell).
- McCLELLAND, J. (1987). Pressure points, *Physics Education*, 22, pp. 107-109.
- SÉRÉ, M.G. (1982). A study of some frameworks used by pupils aged 11-13 years in the interpretation of air pressure, *International Journal of Science Education*, 2, pp. 299-309.
- SMITH, C., CAREY, S. & WISER, M. (1985). On differentiation : a case study of the development of the concepts of size, weight, and density, *Cognition*, 21, pp. 177-237.
- SOMMERFELD, A. (1950). *Mechanics of deformable bodies* (London, Academic Press).
- WATTS, M. (1988). From concept maps to curriculum signposts, *Physics Education*, 23, pp. 74-79.
- WISER, M. (1987). The differentiation of heat and temperature : history of science and novice-expert shift, in : S. STRAUSS (Ed.) *Ontogeny, phylogeny, and historical development* (NJ, Norwood).

QUI ENSEIGNERA L'ÉPISTEMOLOGIE DES SCIENCES ? CONCEPTIONS D'ENSEIGNANTS SUR LA SCIENCE ET CONSÉQUENCES POUR L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

Who will teach the "nature of science" ? :
teachers' views of science and their implications for science education,
International Journal of Science Education, 1994, vol. 16, n° 2, 175-190,
Taylor and Francis Ltd.

Suzanne Lakin
Jerry Wellington

Quelles sont les conceptions et les croyances des professeurs de science concernant l'épistémologie des sciences ? Quels sont leurs besoins et leurs motivations au moment d'aborder cet aspect du programme de science en classe ? Leurs croyances et leurs motivations exerceront-elles une influence importante sur la façon de présenter la science aux élèves ? Telles sont les principales questions abordées dans cet article.

Celui-ci résume les résultats d'une recherche qui a examiné les conceptions d'un certain nombre de professeurs de science selon une méthode dérivée de la théorie du construct personnel de Kelly. Les conséquences pour l'enseignement des sciences sont examinées et des orientations pour la formation professionnelle dans ce domaine sont proposées.

INTRODUCTION

"Notre rôle d'enseignants ne se limite pas à ouvrir la porte du savoir. Nous représentons nous-mêmes, nous incarnons notre sujet. Et dans notre enseignement, nous transmettons non seulement notre savoir explicite mais aussi notre position vis-à-vis de celui-ci, les ramifications et les implications personnelles qu'il suppose pour nous" (Salmon, 1988, p.42).

Si l'on applique cette citation de Phillida Salmon à l'enseignement des sciences, il apparaît que les conceptions et les croyances personnelles sur l'épistémologie des sciences peuvent avoir une influence considérable non seulement sur le contenu de la science enseignée, mais aussi sur la façon dont cette science est enseignée.

L'enseignement de l'épistémologie des sciences constitue une préoccupation croissante à l'heure actuelle dans un certain nombre de pays. Mais lorsque les professeurs de science se trouvent en présence d'un programme qui leur demande d'enseigner "l'épistémologie des sciences", il arrive qu'ils n'adhèrent pas tous au cadre conceptuel proposé. En effet, nous nous forgeons tous, à partir de notre formation personnelle, de notre expérience et de notre philoso-

phie de la vie, un ensemble de concepts unique sur ce que la science signifie pour nous. Ces concepts peuvent s'opposer à certains points de vue exprimés dans les textes du programme. Si tel est le cas, face à un programme ou à un cursus scientifique, les enseignants peuvent se sentir étrangers aux idées et aux concepts définis. Comme le souligne Salmon (1988), il peut en résulter une situation très peu satisfaisante tant pour les professeurs que pour les élèves.

"L'ennui, le manque de confiance, le doute se rencontrent tout autant que l'impression de richesse, d'intérêt, de possibilités nouvelles vis-à-vis du sujet. Certains professeurs enseignent de façon positive un savoir qu'ils ont organisé en se l'appropriant. D'autres, qui restent en partie étrangers à ce qu'ils enseignent, transmettent des messages peu clairs, des réserves secrètes, une distance personnelle, un malaise intérieur vis-à-vis du contenu qu'ils présentent explicitement." (Salmon 1988, p. 42).

En tant que professeurs de science, nous avons à nous interroger sur nos perceptions personnelles de la science. La science constitue-t-elle une méthode permettant de révéler un ensemble de vérités absolues ? Considérons-nous la science comme une nouvelle religion ou simplement comme une méthode, un ensemble de techniques ? Comment envisageons-nous la science par comparaison avec d'autres disciplines ? Avons-nous tendance à croire que seuls les scientifiques accèdent à une véritable pensée par comparaison avec le mode de pensée auquel fait appel, par exemple, l'enseignement de l'anglais ? Quels sont nos préjugés cachés et moins cachés vis-à-vis de la science ?

La recherche rapportée ici a exploré les conceptions personnelles des professeurs et leurs croyances concernant l'épistémologie des sciences ; elle a également examiné les motivations des enseignants vis-à-vis de cet aspect important de l'enseignement scientifique.

MÉTHODOLOGIE

Les recherches conduites jusqu'ici à propos des conceptions des enseignants sur la science et de leurs relations avec la pratique en classe ont surtout utilisé des interviews et des observations de classe. Les résultats obtenus confortent l'idée que ces relations existent.

Lantz et Kass (1987) ont étudié trois professeurs de chimie enseignant le même programme de chimie de base et constaté que leur cours sur l'épistémologie des sciences différait de façon importante, en fonction de leurs différences de conceptions personnelles.

Duschl et Wright (1989) ont constaté que les professeurs de sciences de leur étude adhéraient à une vision hypothético-déductive de la méthode scientifique et à un enseignement de la discipline sous forme de connaissances propositionnelles. La nature et le rôle des théories tenaient peu de place dans leurs choix de contenus et leurs décisions pédagogiques.

Brickhouse (1991) a montré, dans une étude approfondie de trois professeurs de science de formation et d'expérience différentes, que leur idée de la science non seulement influençait les cours portant explicitement sur l'épistémologie des sciences mais aussi déterminait un enseignement implicite sur le savoir scientifique.

Ces études, de nature essentiellement qualitatives, adoptent une approche intensive centrée sur quelques professeurs pris individuellement et sur leurs

élèves. Bien que ce type de recherche apporte des éclairages intéressants sur la pratique individuelle d'enseignement, sa portée quantitative reste limitée.

Dans le cas de la présente recherche, il a par conséquent été décidé de choisir une nouvelle méthode qui, tout en permettant une étude approfondie des conceptions épistémologiques des professeurs, produirait également des descriptions plus quantitatives.

Une approche développée à partir de la théorie du "construct personnel" de Kelly a été adoptée (Kelly 1955). L'idée selon laquelle chacun de nous crée sa propre réalité et que nous ne pouvons connaître le monde dans lequel nous vivons que par des interprétations ou constructions personnelles que nous en tirons est centrale dans cette théorie. Il s'ensuit donc que les êtres humains ne peuvent être compris que par référence à leurs propres réalités intérieures, à leurs systèmes de *constructs* personnels.

Georges Kelly a élaboré cette théorie à partir de ses expériences de psychologue scolaire s'occupant d'enfants à problèmes que des professeurs lui envoyaient. Au lieu de se contenter de confirmer la plainte d'un professeur à propos d'un élève, Kelly essayait de comprendre la plainte avec la signification que le professeur lui donnait. Ce changement de perspective aidait Kelly comme le professeur à considérer le problème d'un point de vue différent, et rendait accessibles un plus grand nombre de solutions potentielles. En pratique cela conduisait à l'analyse de l'enseignant qui se plaignait tout autant que de l'élève qui suscitait le problème.

Les expériences cliniques de Kelly l'ont conduit à penser qu'il n'y a pas de vérité objective, absolue et que les événements n'ont de sens que par rapport à la façon dont nous les interprétons. Dans son modèle, nous sommes tous des "scientifiques" qui tentons activement de donner du sens à nos expériences du monde et de les élargir. Les systèmes de *constructs* que nous créons s'appuient sur des expériences passées et servent à expliquer les événements futurs et à les affronter. Nous regardons le monde et l'interprétons à travers ce système un peu comme avec des lunettes teintées - dont la couleur serait différente pour chacun. Comme le signale Diamond (1985) c'est très différent de la façon dont on décrit souvent les gens comme : *"portant, depuis leur naissance, des sacs à dos invisibles. Tout rentre dans le sac qui est transporté partout, se remplit sans discrimination tout au long de la vie et fournit le matériel souhaité quand il devient nécessaire."* (Diamond 1985, p.15)

Les travaux en psychologie du *construct* personnel se sont d'abord développés dans le domaine clinique essentiellement avec les recherches de Don Bannister sur les désordres de la pensée chez les schizophrènes. Cependant au cours de ces dernières années, un intérêt croissant pour cette approche s'est fait jour dans le domaine de l'éducation. Thomas et Harri-Augstein (1985) ont appliqué ces idées à l'apprentissage, ce qui a conduit à l'approche constructiviste de l'apprentissage adoptée par de nombreux professeurs et chercheurs. Pope et Keen (1981) ont appliqué la théorie du *construct* personnel à la formation et à la pratique professionnelles des enseignants et proposent un utile résumé de la recherche de l'école de Kelly en matière d'éducation. Salmon (1988) rend compte de l'utilité de l'approche en matière d'éducation, en expliquant pourquoi elle : *"... peut offrir aux enseignants des façons nouvelles et potentiellement utiles de traiter les problèmes éducatifs."*

Selon la psychologie de Kelly, dit-elle : *"L'éducation est l'interface systématique entre les systèmes de constructs personnels."*

L'approche de Kelly met autant l'accent sur les constructions de significations des enseignants que sur celles des apprenants. Elle diffère en cela de nombreuses autres approches qui ont tendance à différencier les façons de voir des élèves pris individuellement mais à considérer globalement le point de vue des enseignants. Cette approche réfute les hypothèses absolutistes sur le savoir qui, selon l'auteur, présentent des dangers inhérents :

"... si nous croyons que l'histoire, les sciences et les mathématiques réunissent des vérités fondamentales particulières sur le monde, nous pouvons penser que tous les professeurs de ces matières ont essentiellement le même type de compétence" (Salmon 1988, p. 43)

De l'avis de Kelly, apprendre ne consiste pas à acquérir ce qu'il qualifie de "pépites de vérité" ou de mine de certitudes. L'apprentissage ne permet jamais d'obtenir des réponses définitives. Au contraire, nous rencontrons de nouvelles questions et découvrons d'autres possibilités à essayer. Le savoir est en définitive gouverné par un "alternativisme" constructif - il est toujours possible de tout réinterpréter :

"La réalité n'est pas quelque chose que l'on peut fixer pour toujours dans un programme scolaire normalisé. Les explications données par les professeurs sont essentiellement provisoires. Et bien que le savoir scolaire fasse l'objet d'un consensus social élevé et soit enraciné dans l'ensemble de l'héritage culturel, il est cependant nécessairement personnel. Il trouve son sens dans le système de constructs personnels de chaque enseignant. Dans la mesure où chaque personne habite un monde de signification différente, le programme d'enseignement est reconstruit individuellement par chaque professeur qui le présente." (Salmon 1988, p. 43)

Etant donné l'importance des systèmes de *constructs*, des techniques spéciales permettant d'y accéder ont été mises au point. Ces techniques reposent essentiellement sur l'entretien, et la méthode exclut tout jugement. Nos systèmes de *constructs* englobent parmi nos connaissances bien plus que ce que les mots nous permettent d'exprimer, ils intègrent aussi des sentiments et des émotions. Bien souvent, plus le savoir est fondamental, moins il est accessible à la verbalisation. Pour la mise à jour des *constructs*, il est important que l'écoute soit active, non seulement pour ce qui est dit, mais aussi pour ce qui n'est pas dit.

Trois principaux processus ont été mis en œuvre dans notre étude :

- a/ la mise à jour des *constructs* ;
- b/ le développement des *constructs* ;
- c/ l'utilisation d'une grille répertoire.

La figure 1 résume les étapes du processus.

Mise à jour des *constructs*

Afin de mettre à jour les *constructs* sur la nature de la science, la procédure suivante a été adoptée.

1/ Des disciplines du programme ont été présentées par triades à l'interviewé, par exemple : science, art, histoire. Il était expliqué que ces disciplines n'étaient pas nécessairement définies comme elles étaient enseignées à l'école mais devaient être considérées comme des disciplines de savoir. On demandait à l'interviewé de choisir, parmi les trois, les deux disciplines qui, à son avis, étaient les plus semblables et, par conséquent, différentes de la troisième. Dix-sept séries de triades ont été utilisées. Toutes sauf une, contenaient la discipline "science" dans la mesure où il s'agissait du thème central de l'enquête (voir annexe A).

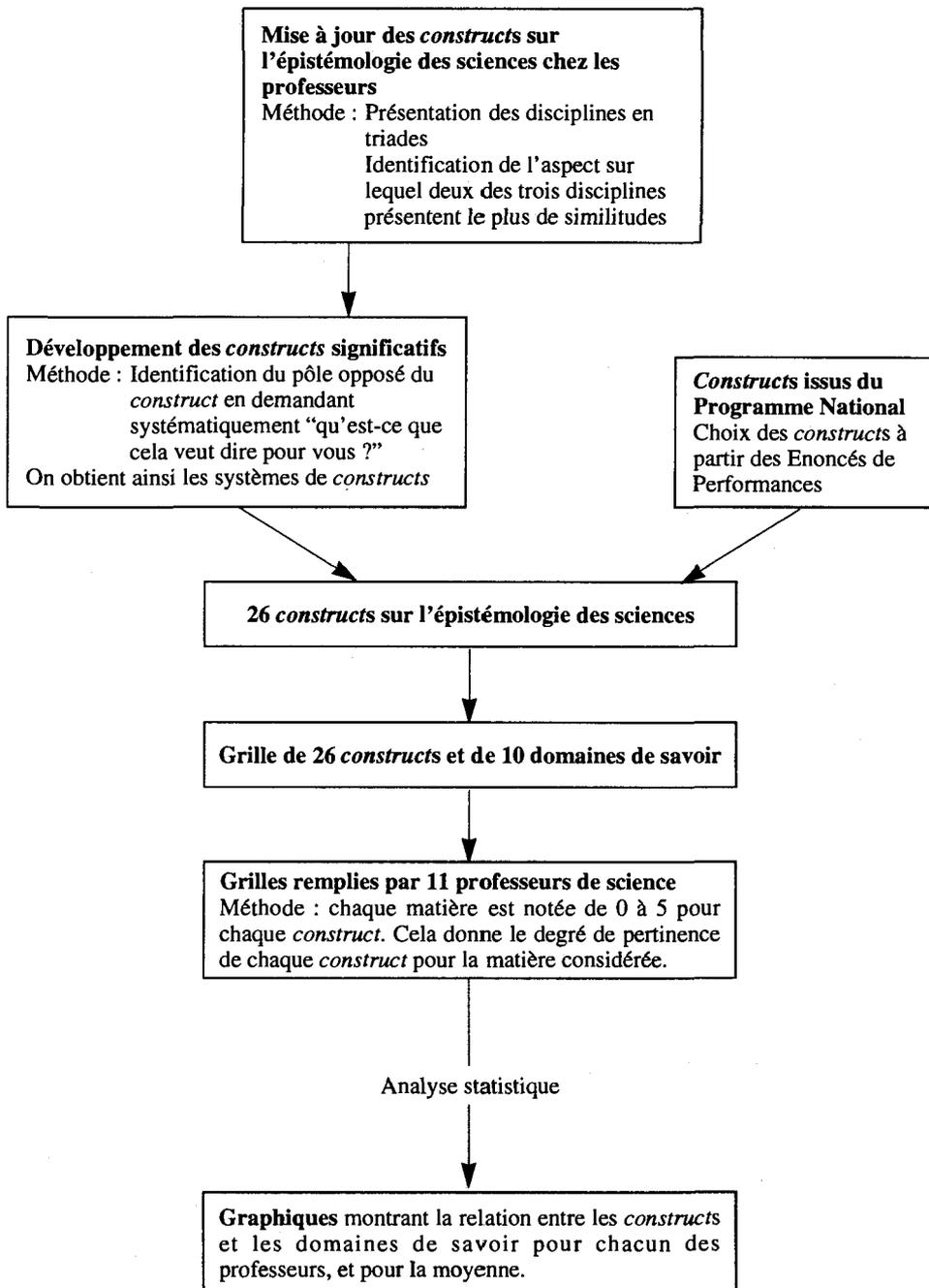


Figure 1. Résumé du processus de recherche des *constructs* des professeurs sur l'épistémologie des sciences

2/ Pour chaque choix réalisé, il était demandé à l'interviewé de trouver une expression brève décrivant avec le plus de précision possible en quoi les deux disciplines choisies se ressemblaient le plus et donc en quoi elles différaient de la troisième. L'ensemble constituait une série de *constructs* (allant jusqu'à 19) relatifs aux conceptions de l'interviewé sur l'épistémologie des sciences.

Les *constructs* de quatre professeurs ont été explicités de cette façon. Ces professeurs, ainsi que les autres professeurs ayant pris part à l'étude, ont été sélectionnés à partir des trois critères suivants :

Expérience : un minimum de dix années d'enseignement des sciences à des élèves d'une tranche d'âge située entre 10 et 16 ans, afin que la recherche mette à jour les *constructs* de professeurs expérimentés formés il y a plus de dix ans, à un moment où il y avait encore moins de chances que maintenant pour que la formation mette l'accent sur l'histoire et la philosophie, ou plus généralement sur l'épistémologie des sciences. Les enseignants ont confirmé que c'était le cas.

Sexe : représentation des deux sexes.

Qualifications : un diplôme scientifique et un diplôme d'enseignement.

Développement des *constructs*

Cette technique (1) a été élaborée par Hinckle (1985) à partir de la théorie de Kelly afin d'explicitier le sens caché derrière les étiquettes verbales des *constructs*. Elle permet de hiérarchiser les *constructs* individuels à l'intérieur du système de *constructs* de chacun. Ils sont ainsi situés dans un contexte, ce qui révèle les implications qui ne sont pas toujours apparentes lorsqu'ils sont envisagés isolément. On peut faire l'analogie avec ce qui se passe en sciences lorsqu'on envisage l'effet produit sur les propriétés d'un élément lorsqu'il est associé à d'autres éléments pour former un corps composé. Les *constructs* individuels peuvent être considérés comme les atomes de l'élément particulier avec leurs propriétés caractéristiques.

Toutefois, lorsqu'ils sont mis en relation dans un système, les *constructs* peuvent prendre un sens différent, tout comme les propriétés des éléments qui sont associés pour former un corps composé changent.

La procédure utilisée engage les processus suivants :

- 1) choix des *constructs* les plus significatifs obtenus pendant la phase de mise à jour. Le caractère significatif est estimé au nombre de fois où le *construct* est explicité ainsi qu'à l'importance (verbale et non-verbale) donnée par l'interviewé ;
- 2) identification du pôle opposé du *construct*. Tous les *constructs* ont deux pôles et le pôle opposé d'un *construct* particulier peut être très différent pour des personnes différentes. Par exemple, le pôle opposé du *construct* "pensée logique" pourrait être "intuition" pour quelqu'un et "pensée confuse" pour quelqu'un d'autre ;
- 3) identification du pôle qui, de l'avis de l'individu, s'apparente le plus à l'épistémologie des sciences. Ce pôle est affecté d'un signe positif et le pôle opposé d'un signe négatif ;
- 4) les deux pôles sont alors développés en posant la question suivante : "Qu'est-ce que cela veut dire pour vous ?".

(1) appelée "*laddering of constructs*" en anglais, dénomination qui renvoie à la construction des étages successifs d'un échafaudage (NdT).

La réponse donnée constitue un autre *construct* qui est écrit sous le premier. Celui-ci est à son tour développé en posant la même question et la réponse apporte un autre *construct*. Le processus se poursuit ainsi jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'autres *constructs* à mettre à jour : c'est-à-dire jusqu'à ce que l'on ait obtenu le *construct* de rang supérieur ou *construct-noyau*. On obtient ainsi le système de *constructs* individuel. Des relations entre les *constructs* sont souvent mis en évidence, de même que des zones de conflit possible pour la personne.

Utilisation d'une grille-répertoire

D'après la théorie de Kelly, chaque personne a accès à un nombre limité de *constructs* grâce auxquels elle (il) évalue les phénomènes qui constituent son monde. Ces phénomènes sont désignés comme des éléments et incluent des personnes, des événements, des objets, des idées, des institutions, etc. On fait appel à une grille-répertoire pour explorer les relations qui existent pour un individu entre ses *constructs* ou entre des groupes particuliers d'éléments.

Dans cette recherche, les éléments choisis sont dix disciplines différentes : sciences, mathématiques, anglais, technologie, histoire, français, géographie, musique, arts, religion. Ces termes ne correspondent pas nécessairement à la discipline telle qu'elle est enseignée à l'école mais désignent la discipline dans son sens le plus large.

Les 26 *constructs* que comportait la grille avaient été choisis à partir de ceux qui avaient été explicités par les professeurs et de ceux que mentionnait le Programme National pour l'Angleterre et le Pays de Galles. Les pratiques habituelles de recherche sont variables : les *constructs* utilisés dans les grilles sont parfois mis à jour au préalable et parfois donnés. Comme le signalent Bannister et Muir (1968), le principal danger de donner les *constructs* est que le chercheur peut présumer que les expressions qu'il propose sont les équivalents verbaux des dimensions psychologiques qui l'intéressent.

La grille que nous avons mise au point (Annexe B) a été proposée à 20 professeurs de science en exercice répondant tous aux critères donnés plus haut et 11 grilles ont été retournées. Bien qu'on ait tenté d'utiliser un échantillon prélevé au hasard, le groupe ayant accepté de compléter la grille s'est, dans une certaine mesure, auto-sélectionné. Il s'agissait de professeurs suffisamment intéressés par ce travail pour consacrer un temps important à cette tâche difficile.

RÉSULTATS DE L'ÉTUDE

Étude détaillée de quelques enseignants

Quatre professeurs ont été choisis pour une étude approfondie de leurs idées personnelles sur l'épistémologie des sciences. Étant donné le temps et l'espace demandés pour l'exposé complet de chaque étude de cas et par souci de brièveté, deux cas seulement sont résumés ci-après (on pourra se reporter à Lakin et Wellington (1991) pour le compte-rendu complet et l'analyse graphique). Nous avons également résumé les résultats du professeur "moyen" (sic) établis à partir des réponses de onze professeurs à la grille-répertoire, afin de servir de référence pour les résultats détaillés des cas étudiés.

• **Mise à jour et développement des constructs**

La liste des *constructs* concernant la science mis à jour pour deux enseignants est donnée ci-après. A l'intérieur des parenthèses suivant certains *constructs*, figure le nombre de fois où le *construct* a été exprimé. Les lettres indiquent les matières choisies comme proches des sciences, pour qui le *construct* était explicité. Les codes suivants ont été utilisés :

Mathématiques (Ma) ; Langue anglaise (An) ; Littérature anglaise (LA) ; Technologie (T) ; Géographie (Géo) ; Histoire (H) ; Arts (Ar) ; Langue étrangère (LE) ; Enseignement religieux (R) ; Education physique (EP) ; Economie domestique (ED) ; Technologie de l'information (TI) ; Enseignement des médias (EM) ; Sociologie (So) ; Philosophie (Ph) ; Psychologie (Psy) ; Etudes commerciales (EC) ; Education individuelle/sociale (EIS) ; Musique (Mu)

(I) Professeur A

Homme

Nombre d'années d'enseignement : 27

Qualifications : *Bachelor of Science* en chimie, *Certificate* en éducation, (3 ans d'études supérieures en chimie et 1 an de formation professionnelle)

Etablissement d'enseignement : mixte, enseignement général public, élèves de 13 à 18 ans, banlieue

Dispositif et méthodes d'enseignement : disciplines scientifiques enseignées séparément, modules de science, approche CLIS en 9ème année (2).

Constructs :

fondement hiérarchique pour l'apprentissage (x7) Ma Ma LE LE LE LE Mu

logique (x3) Ma Ma TI

pratique : Géo

comporte une philosophie et des idées sous-jacentes : R

recherche et réalisation suivant un mode d'emploi ED

utilisation de machines, de matériel (x2) TI EM

recueil de données : So

idées abstraites : Ph

méthodologie : Psy

inclut une sensibilisation à l'économie : EC

se sert des mathématiques comme d'un outil : EC

pensée abstraite associée à habileté manuelle : Mu

en prise avec les faits : EIS

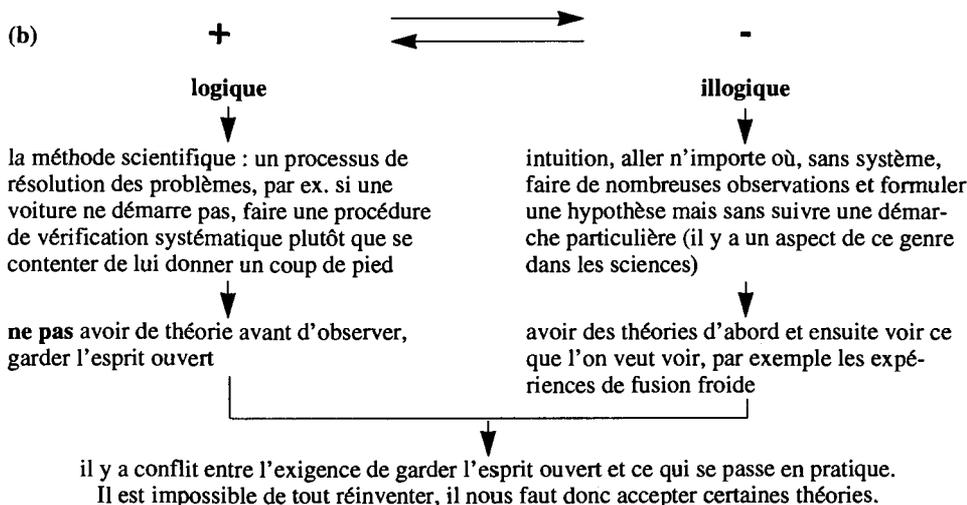
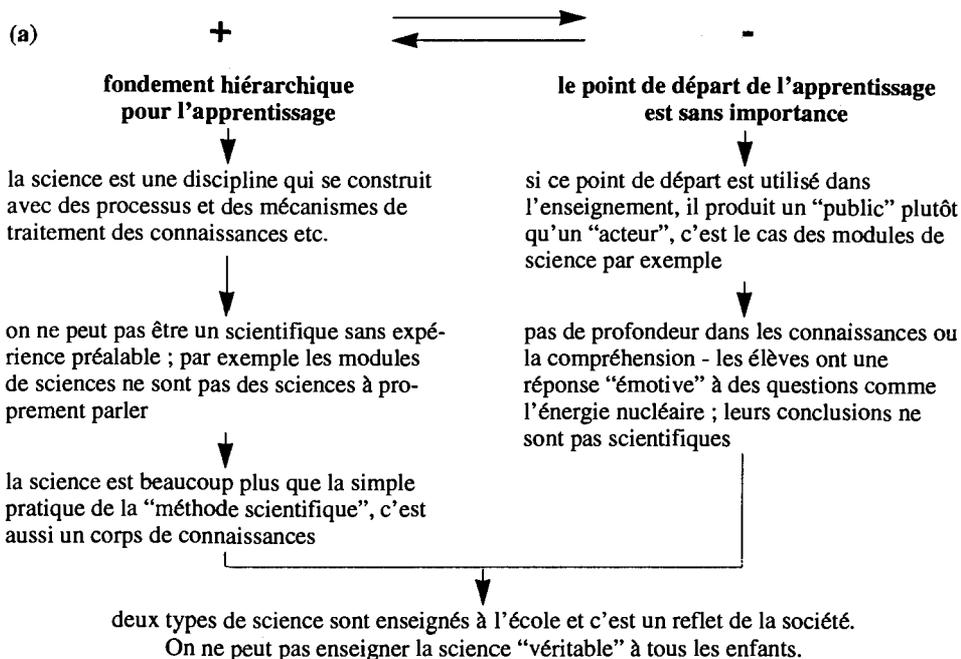
On voit, d'après cette liste, que le professeur A met l'accent sur le caractère hiérarchique des sciences qui les rapproche des mathématiques, des langues étrangères et de la musique. Il a donc été décidé de développer ce *construct*, ainsi que ceux de "logique" et "abstrait", qui semblaient importants pour lui également.

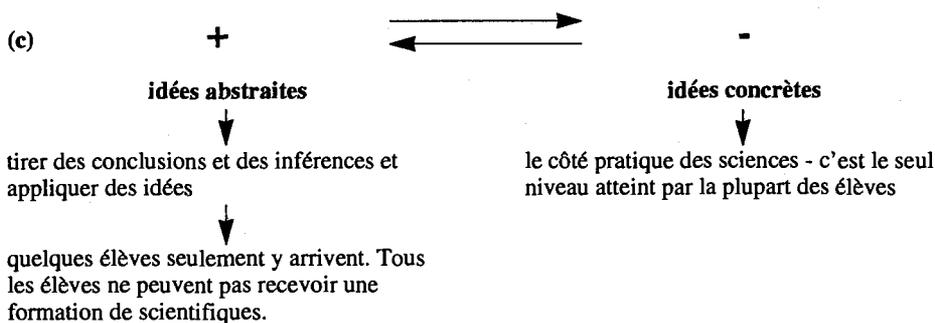
(2) L'enseignement scientifique en Grande-Bretagne est souvent organisé sous la forme de modules de science, par exemple "énergie", "environnement", "génétique", choisis par les enseignants et les élèves, et dont l'ensemble est prévu pour constituer une formation scientifique équilibrée.

Children's Learning in Science (CLIS), groupe de recherche de l'Université de Leeds, a étudié les idées des élèves sur la science et élaboré des propositions d'enseignement et du matériel pédagogique qui prennent en compte les conceptions initiales des élèves.

(Note des auteurs pour la publication de l'article en français)

Voici le résumé du processus de développement de ces *constructs*.





Le professeur A marque une nette distinction entre ce qu'il appelle "science réelle" et "pseudo-science", et pense que seules quelques personnes sont capables de recevoir un enseignement véritablement scientifique.

Les réponses du professeur A avec la grille-répertoire accentuent certains des aspects déjà mis en évidence au cours du processus de développement, en particulier : la science implique peu d'émotion, d'intuition, de hasard, de pensée imaginative ou de rapport avec la culture, bien qu'elle soit déterminée économiquement et politiquement de façon importante. De son point de vue, la science est très éloignée de la morale et de l'éthique et n'a pas de relation avec les croyances spirituelles.

Nous avons également pu explorer la façon dont ce professeur perçoit les relations entre la science et d'autres disciplines (une représentation graphique en est donnée dans Lakin et Wellington 1991). Pour le professeur A, la science a des relations étroites avec les mathématiques et un certain rapport avec l'histoire et la technologie. Elle n'a cependant aucune corrélation avec l'anglais ou la musique.

La corrélation entre les *constructs* peut également être représentée par un graphique (qui n'est pas reproduit ici non plus par souci de concision : voir Lakin et Wellington 1991). Celui-ci permet de mieux comprendre le sens que leur donne le professeur A lorsqu'il les utilise pour classer les disciplines. On peut en tirer les conclusions suivantes :

- Les observations subjectives mettant en jeu émotions, pensée imaginative, intuition et clairement liées à la culture et aux croyances spirituelles sont diamétralement opposées à un grand nombre de compétences scientifiques traditionnelles telles que : formulation d'hypothèses/élaboration de théories, pensée logique, recherche sur le comportement des objets, etc. Ceci renforce le point de vue exprimé au cours du processus de développement des *constructs* selon lequel la "vraie" science ne met pas en jeu de réactions émotionnelles face aux problèmes.

- Le professeur A admet que les vérités et les théories en évolution sont fondées sur l'expérience, qu'elles sont dans une certaine mesure déterminées politiquement et non coupées de la morale et de l'éthique. Ils ne les met toutefois pas en relation avec les *constructs* exposés ci-dessus qui concernent les compétences scientifiques traditionnelles.

(II) Professeur B

Femme

Nombre d'années d'enseignement : 18

Qualifications : *Bachelor of Science* en physique, *Post-Graduate Certificate in Education*, "Advanced Diploma in Learning Difficulties in Education", *Master of Art* en éducation (3 ans d'études supérieures en physique et 3 ans de formation professionnelle)

Etablissement scolaire : mixte, enseignement général public, élèves de 9 à 13 ans, grande banlieue

Méthode d'enseignement utilisée : essentiellement "Science in Process" (3)

Constructs

utilisation du langage pour communiquer des idées, etc :AN

comprend de la technologie : T

développement d'idées (x2) : H R

connaissances factuelles : Géo

approche pratique : ED

utilise l'informatique comme outil : TI

est en relation avec la société dans laquelle elle existe : So

traite d'idées : Ph

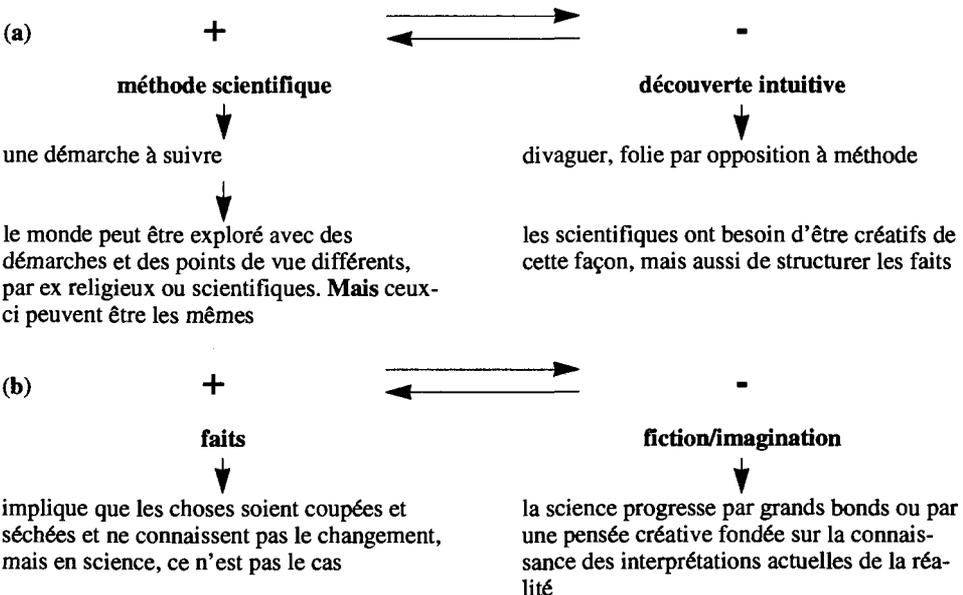
est concernée par les êtres humains et leurs idées (x2) Psy EIS

inclut une sensibilisation à l'économie : EC

implique l'observation (x2) Ar Ar

emploie la méthode scientifique : Mu

Les *constructs* "méthode scientifique" et "connaissances factuelles" ont été développés parce qu'ils englobaient un grand nombre des *constructs* mis à jour à propos de la science.



(3) Méthode publiée qui met l'accent sur l'enseignement des *processus* scientifiques (faire des inférences, émettre des hypothèses...) plutôt que sur les *contenus*. (Note des auteurs pour la publication en français)

Le professeur B décrit certaines des contraintes qu'elle éprouve en tant que professeur de science qui l'empêchent et d'enseigner ce qu'elle estime être la vraie nature de la science.

*“Pour moi, la science n'est pas un ensemble de connaissances. Mais le patron [le directeur] et certains responsables ne supportent pas que je pense cela, cela ébranle leur sécurité. Je suis obligée de l'enseigner comme un ensemble de faits à transmettre, à cause aussi de la pression du temps et de l'évaluation. De plus en plus je m'entends dire aux élèves : « Lisez ce qu'on vous dit de faire » au lieu de leur dire de **penser**. D'un point de vue idéal, je vois la science comme un moyen d'aider les enfants à grandir.”*

Le poids relatif donné par le professeur B aux *constructs* de la grille-répertoire concernant la science montre qu'elle accorde peu d'importance à l'imagination et à l'aspect émotionnel de la science. On peut y voir un lien avec la méthode qu'elle utilise avec les élèves et avec le fait que ses élèves quittent l'établissement à 13 ans.

Il est intéressant de remarquer qu'elle attribue une corrélation positive entre les différentes matières plus forte que ne le font les autres professeurs. Ceci peut venir en partie de la philosophie de l'école moyenne dans son secteur, où les liens pluridisciplinaires entre les sujets sont privilégiés et où une grande partie de l'enseignement est centrée autour de thèmes.

Ces observations sont confirmées par l'examen des relations établies entre les *constructs* (également représentées graphiquement dans : Lakin et Wellington, 1991). Pour le professeur B, aucune matière n'était indépendante de considérations éthiques ; elle a de la même façon, pour d'autres *constructs*, attribué une note équivalente à l'ensemble des matières.

Cette opinion peut ici encore être liée à l'approche pluridisciplinaire développée dans son établissement ainsi qu'à l'utilisation par ce professeur d'une méthode pédagogique pour l'enseignement scientifique qui donne de l'importance au développement des compétences, et enfin à sa philosophie personnelle :

“D'un point de vue idéal, je vois la science comme un moyen d'aider les enfants à grandir.”

Résultats de l'analyse des réponses à la grille-répertoire pour un professeur “moyen”

Puisque seuls onze enseignants répondant aux critères définis ont rempli la grille, les conclusions sur les conceptions du professeur de science “moyen” sont proposées ici à titre tout à fait exploratoire. Etant donné que ces professeurs étaient suffisamment intéressés pour donner de leur temps et jugeaient que la question méritait leur attention, ils constituaient, par nature, un échantillon de professeurs de science probablement pas tout à fait “moyen”. Néanmoins, leurs points de vue sont importants : en effet, même un petit échantillon comme celui-ci permet de mettre en lumière des points importants.

* Les professeurs ont des points de vue assez différents sur le degré de pertinence pour la science des *constructs* proposés. Les idées individuelles sur la nature de la science varient en particulier sur les points suivants : dans quelle mesure la science implique des observations subjectives, des émotions, de l'intuition, du hasard, une pensée imaginative, est-ce qu'elle consiste en un corps de connaissances hiérarchisées, est-ce qu'elle est déterminé par la culture, coupée de la morale/de l'éthique, des croyances spirituelles.

* En général, il y a pour les professeurs une relation étroite entre la science et les mathématiques, la technologie, la géographie et l'histoire, mais très peu, ou quasiment pas de relation entre la science, le français, la religion, l'anglais, l'art et la musique. Ceci suggère que, dans l'esprit du professeur moyen, il existe une similitude en termes de compétence, approches, contenu et philosophie entre la science et un groupe particulier de disciplines qui les rend tout à fait différentes des autres domaines de connaissances, de compréhension et de pratique. Ceci peut vouloir dire que, pour le professeur de sciences "moyen", la "méthode scientifique" n'est pas une compétence transférable ou encore que certains domaines de connaissances sont bien plus liés aux croyances, à la morale/l'éthique, à la culture et impliquent plus d'émotion, une observation subjective et une pensée imaginative.

* Les *constructs* généralement considérés comme caractéristiques de la méthode scientifique (analyse, évaluation, prévisions, formulation d'hypothèses, élaboration de théories, etc.) ont une relation négative à la culture, à l'émotion, aux observations subjectives et ne sont pas fondés sur l'expérience. Ils n'ont pas de relation avec la pensée imaginative, l'intuition, le hasard, les idées "exceptionnelles" et dans une certaine mesure avec les processus abstraits ; ils sont coupés des croyances spirituelles et, dans une certaine mesure de la morale/de l'éthique.

DISCUSSION DE L'ENSEMBLE DE LA RECHERCHE

Le paragraphe ci-dessus a essayé de résumer, aussi succinctement que possible, l'étude des points de vue des professeurs de science en utilisant des méthodes dérivées de la théorie du *construct* personnel. À partir de cette étude ainsi que d'autres données recueillies dans la recherche, nous présentons maintenant un résumé des principales conclusions de cette recherche ainsi que leurs implications pour l'enseignement des sciences.

Un processus exigeant mais satisfaisant pour les enquêtes

Les professeurs ont trouvé, en général, que le processus était exigeant mais satisfaisant. Ils ont fait remarquer que c'était la première fois que quiconque les interrogeait sur leurs points de vue concernant la science. Il est apparu également qu'ils réfléchissaient en marchant et modifiaient leurs idées au fur et à mesure de l'enquête. La méthode utilisée, ont-ils déclaré, les obligeait à réfléchir attentivement et à remettre leurs idées en question. Ceci semble indiquer qu'une méthode similaire à celle-ci pourrait constituer un outil intéressant pour la formation professionnelle continue.

Zones de conflits

Plusieurs zones de conflits auxquelles sont confrontés les professeurs ont été mises en évidence :

* conflit du fait des exigences liées à l'organisation de l'établissement, aux programmes scolaires, de la pression des chefs d'établissements et des autres collègues, des nécessités de l'évaluation et des élèves ;

* conflit avec les méthodes d'enseignement scientifique actuelles qui mettent l'accent sur l'apprentissage des processus, souvent de façon irréaliste (Millar 1989, Wellington 1989) ;

* conflit avec ce qui "marche" le mieux dans la classe. On adopte souvent une approche de découverte guidée même s'il en résulte une impression peu réaliste de ce qu'est la science (Wellington 1981).

Connaissances et réflexion

La recherche a nettement mis en évidence le manque de connaissances des enseignants étudiés sur l'épistémologie et l'histoire des sciences. Ils reconnaissaient verbalement que leurs connaissances étaient parcellaires et leurs idées mal formulées, et par ailleurs des manifestations non-verbales témoignaient de leur insécurité lorsque ces problèmes étaient abordés en profondeur. Les enseignants attendaient une confirmation de ce que leurs interprétations étaient acceptables et étaient "les bonnes". Très clairement, avant que les enseignants ne participent à cette recherche, leur réflexion sur l'épistémologie des sciences avait été limitée - bien qu'ils aient été, il faut le souligner, en général satisfaits et même flattés d'avoir été interrogés sur leurs points de vue. Ce manque de réflexion ressortait en particulier de l'absence d'intérêt manifesté pour les aspects culturels, moraux et philosophiques des sciences et de l'enseignement des sciences.

Il est intéressant de constater que les professeurs n'étaient pas très au clair sur ce en quoi consistait la "méthode scientifique", bien que les programmes d'enseignement en fassent la pierre angulaire de la composante expérimentale des sciences. Le sentiment général était que la méthode scientifique représentait le degré le plus élevé dans les méthodologies, avec une sorte d'élitisme considérant la science comme le modèle à suivre pour les autres disciplines. Cette attitude contraste avec l'insécurité manifestée lorsque c'était les conceptions sur la nature de la science qui étaient en question.

A partir de cette étude, il serait imprudent d'avancer que les enseignants sont des "inductivistes naïfs" ou de leur attribuer toute autre étiquette (Koulaidis et Ogborn, 1989). Comme l'a montré l'étude en profondeur qui a été réalisée, la situation est bien plus complexe. Les seules constantes semblent être le manque de réflexion sur la nature de la science et un sentiment d'insécurité teinté d'un soupçon d'élitisme.

Les attentes vis-à-vis des sciences

L'un des points les plus marquants de cette étude concernait les attentes suscitées par la science et l'enseignement scientifique dans les écoles - non seulement celles des professeurs et des élèves, mais aussi celles qui étaient attribuées aux parents et à la société. Il est bien possible qu'il s'agisse là de l'un des obstacles les plus sérieux à l'introduction d'un enseignement sur l'épistémologie des sciences. Comme l'a exprimé un enseignant, les élèves ont des attentes spécifiques sur ce qu'est un cours de science lorsqu'ils entrent en classe (surtout si la salle de classe est un laboratoire) :

"Ils ne s'attendent pas à de la lecture, de la discussion, du théâtre ou du jeu de rôle. Mais ils s'attendent à des becs Bunsen et du travail pratique. Ils ne veulent pas apprendre que la science n'est pas un ensemble de faits, que les théories changent et que la science n'a pas toutes les réponses - ils veulent la sécurité que donne un ensemble de vérités indiscutables. Ils attachent peu d'intérêt à leurs

interprétations ou à leurs théories personnelles mais ils veulent savoir ce qui se devrait se produire dans une expérience particulière et ce que cela prouve."

Il semble qu'il en soit de même chez certains des professeurs responsables de départements, collègues d'autres disciplines et même collègues de science du même établissement - comme en témoigne le commentaire d'un professeur de science :

"Eh bien, la science, c'est bien un ensemble de faits, n'est-ce pas ?"

et d'un autre qui montre la pression exercée par les professeurs responsables de départements :

"Pour moi, la science n'est pas un ensemble de connaissances. Mais le patron [le directeur] et certains responsables ne supportent pas que je pense cela, ça ébranle leur sécurité. Je suis obligée de l'enseigner comme un ensemble de faits à transmettre."

Les parents et la société ont aussi certaines attentes et images tenaces de la science et de l'enseignement scientifique difficiles à modifier. Les médias par exemple, présentent la science comme infaillible, comme une activité qui va de l'avant dans sa quête de la vérité (comme dans le feuilleton télévisé *Star Trek* : voir Wellington, 1991). Cette image doit inévitablement déteindre sur les élèves et les parents et les conduire à une perception de la science en complète contradiction avec les travaux contemporains sur l'épistémologie des sciences. Qu'il y ait conflit entre les conceptions initiales de la science chez les élèves et l'enseignement scientifique n'est pas nouveau, mais il s'agit d'un domaine où les contradictions peuvent être plus profondes qu'ailleurs.

Stratégies d'enseignement

Les professeurs de science sont peut-être aussi mal à l'aise vis-à-vis des stratégies d'enseignement qui leur sont proposées qu'ils le sont vis-à-vis des méthodes scientifiques elles-mêmes. Peu de professeurs semblent en confiance avec les stratégies suggérées pour aborder l'épistémologie des sciences, comme la discussion, le travail par petits groupes, le travail documentaire, le théâtre ou les jeux de rôle. Ils peuvent avoir l'impression de ne pas bien comprendre ces stratégies et de ne pas savoir comment les mettre en oeuvre de façon efficace ou ne pas leur faire vraiment confiance. On retrouve une idée proche de celle que partage la majorité des professeurs de l'étude selon laquelle la science est différente ou même complètement dissociée des sciences humaines.

Besoins de formation continue

De précédents rapports ont souligné le besoin pressant de formation continue en relation avec l'introduction de l'épistémologie dans les programmes scientifiques, mais ils n'ont pas tenté de préciser ce besoin en détail. Cette étude peut avoir apporté des indications sur les besoins des professeurs ainsi que sur leurs préoccupations.

Il apparaît clairement que les enseignants demandent des ressources pédagogiques pratiquement prêtes à l'emploi et insérées aux endroits appropriés dans les méthodes d'enseignement des sciences existantes. L'adaptation au niveau de lecture et de compréhension des élèves selon leur âge est primordiale. Il est important également que des ressources pour les élèves les plus aptes soient disponibles - ressources qui font défaut dans plusieurs des méthodes en usage à l'heure actuelle. Sans réclamer une formation détaillée sur les travaux de Popper, Kulan ou d'autres points de vue plus récents sur la science, certains

professeurs apprécieraient une information d'ensemble tenant compte des manques qui existent dans leurs connaissances et leur analyse.

Une des façons de former les professeurs consiste à leur donner des occasions et de l'aide pour explorer et identifier leurs propres vues sur les sciences. Pour de nombreux professeurs, leur participation à cette recherche a permis que soit reconnu pour la première fois qu'ils avaient une "philosophie de la science". Le mot "philosophie" en est venu à représenter une menace pour beaucoup d'enseignants, plutôt que quelque chose qui est en eux et qui a besoin de s'exprimer. Nous pensons que certains des outils et des méthodes présentés dans cette recherche pourraient être adaptés et servir à la formation initiale et continue en science.

Les professeurs ont également exprimé un besoin de formation continue pour leur permettre de maîtriser les stratégies pédagogiques qui se prêtent à l'enseignement de l'épistémologie des sciences - stratégies qu'ils ont eu peu de chances de rencontrer au cours de leur formation initiale. Selon la suggestion de certains, il serait possible de profiter des compétences des enseignants d'anglais et de sciences humaines qui pourraient aider à assurer cette formation.

Qui jouera un rôle moteur pour l'enseignement de l'épistémologie des sciences ?

Dans le passé, certaines innovations dans les programmes scientifiques se sont faites à l'initiative des enseignants, ou tout au moins sous leur conduite. Nous soupçonnons fortement que ce n'est pas le cas pour cette innovation : il se peut même, en fait, que les enseignants empêchent sa mise en oeuvre. Qui prendra l'initiative d'un développement curriculaire susceptible d'aller à l'encontre des conceptions des professeurs sur la science (et son rôle comme discipline d'enseignement) et qui s'oppose sans aucun doute aux idées du public sur la science et son utilité ?

Peut-être l'initiative devrait-elle être prise par des organismes nationaux comme l'Association pour l'Education Scientifique ? Peut-être, en Angleterre et au Pays de Galles, le Conseil National des Programmes devrait-il prendre une part plus active pour faire accepter le développement d'un programme regardé avec suspicion, insécurité et scepticisme par de nombreux enseignants. Il est possible que les professeurs ne prennent sérieusement en compte l'épistémologie des sciences comme élément de la formation scientifique que lorsque des commissions d'examen se mettront à imposer des questions obligatoires sur cette partie du programme. D'ici là, il est à craindre que cet enseignement soit marginalisé par la grande majorité des enseignants.

Suzan LAKIN
Jerry WELLINGTON
Université de Sheffield
Grande Bretagne

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier publiquement l'Association pour l'Enseignement des Sciences qui a financé ce projet, pour les fonds qu'elle a généreusement mis à notre disposition. Nous tenons également à remercier les professeurs qui y ont consacré beaucoup de leur temps.

La revue Aster remercie les auteurs et la rédaction de International Journal of Science Education, qui ont aimablement accordé l'autorisation de publication de cet article en français. La traduction a été assurée par Michelle Waymal, avec la collaboration d'Anne Vérin.

BIBLIOGRAPHIE

BANNISTER, D. and MUIR, J.M.M. (1968). *The Evaluation of Personal Constructs*. London, Academic Press.

BRICKHOUSE, N.W. (1991). Teachers' content knowledge about the nature of science and its relationship to classroom practice. *Journal of Teacher Education*, 41 (3), 53-62.

COHEN, L. and MANION, L. (1980). *Research Methods in Education*, 2nd edn. London, Croom Helm.

DIAMOND, C.T.P. (1985). Becoming a teacher : an altering eye. In *Issues and Approaches in Personal Construct Theory*, London, Academic Press.

DUSCHL, R.A. and WRIGHT, E. (1989). A case study of high school teachers' decision-making models for planning and teaching science. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, 467-502.

HINCKLE, D.N. (1985). The change of personal constructs from the viewpoint of a theory of implications. Thèse (PhD) non publiée, Ohio State University.

KELLY, G.A. (1955). *The Psychology of Personal Constructs*. New York, Norton.

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

LAKIN, S. and WELLINGTON, J.J. (1991). *Teaching the Nature of Science : Project Report*, Education Research Centre, University of Sheffield, 56 pp.

LANTZ, O. and KASS, H. (1987). Chemistry teachers' functional paradigms. *Science Education*, 71, 117-134.

MILLAR, R. (ed.) (1989). *Doing Science : Images of Science in Science Education*. Lewes, Falmer Press.

POPE, L. and KEEN, T. (1981). *Personal Psychology and Education*. London, Academic Press.

THOMAS, L. and HARRI-AUGSTEIN, E.S. (1985). *Self-organized Learning. Foundations of a Conversational Science for Psychology*. London, Routledge and Kegan Paul.

SALMON, P. (1988). *Psychology for Teachers. An Alternative Approach*. London, Hutchinson.

WELLINGTON, J.J. (1981). 'What's supposed to happen sir ?' : Some problems with discovery learning in science. *School Science Review*, 63 (222), 167-173.

WELLINGTON, J.J. (ed.) (1989). *Skills and Processes in Science Education*. London, Routledge.

WELLINGTON, J.J. (1991). Newspaper science, school science : friends or enemies. *International Journal of Science Education*, 13 (4), 363-372.

ANNEXE A - PRÉSENTATION DES DISCIPLINES PAR TRIADES

Dans chacune des triades suivantes de disciplines d'enseignement, soulignez *les deux triades* qui, à votre avis, sont les plus semblables, et par conséquent, sont différentes de la troisième.

Pour chaque triade, trouvez une brève expression qui indiquera, de la façon la plus significative possible, ce en quoi les deux disciplines que vous avez soulignées se ressemblent le plus. Rappelez-vous qu'il s'agit uniquement de *votre* opinion

| | | |
|------------------------------------|------------------------|------------------------|
| 1. Science | Anglais | Littérature anglaise |
| 2. Science | Mathématiques | Anglais |
| 3. Mathématiques | Science | Technologie |
| 4. Science | Histoire | Langue étrangère |
| 5. Littérature anglaise | Géographie | Science |
| 6. Arts | Enseignement religieux | Science |
| 7. Education physique | Economie domestique | Science |
| 8. Technologie de l'information | Education physique | Science |
| 9. Sociologie | Langue étrangère | Science |
| 10. Philosophie | Science | Arts |
| 11. Psychologie | Science | Langue étrangère |
| 12. Arts | Technologie | Enseignement religieux |
| 13. Education individuelle/sociale | Science | Langue étrangère |
| 14. Etudes commerciales | Science | Arts |
| 15. Musique | Science | Arts |
| 16. Enseignement des médias | Science | Langue étrangère |

**ANNEXE B. GRILLE DE NOTATION DES 26 CONSTRUCTS
POUR DIX DISCIPLINES**

| | Sc | Ma | An | Fr | H | T | Mu | Ar | R | Géo |
|---|----|----|----|----|---|---|----|----|---|-----|
| observations subjectives | | | | | | | | | | |
| observations objectives | | | | | | | | | | |
| formulation d'hypothèses/ théorisation | | | | | | | | | | |
| prévisions | | | | | | | | | | |
| un corps de connaissances | | | | | | | | | | |
| comporte des idées uniques | | | | | | | | | | |
| connaissances hiérarchisées | | | | | | | | | | |
| pensée logique | | | | | | | | | | |
| met en jeu des émotions | | | | | | | | | | |
| abstrait(e) | | | | | | | | | | |
| concrèt(e) | | | | | | | | | | |
| recherche comment se comportent les objets | | | | | | | | | | |
| intuitif (ve) | | | | | | | | | | |
| analyse et évalue | | | | | | | | | | |
| ensemble de vérités | | | | | | | | | | |
| ensemble de théories en évolution | | | | | | | | | | |
| laisse une part au hasard | | | | | | | | | | |
| fondé(e) sur l'expérience | | | | | | | | | | |
| produit des explications | | | | | | | | | | |
| application de connaissances | | | | | | | | | | |
| déterminé par la culture | | | | | | | | | | |
| pensée imaginative | | | | | | | | | | |
| déterminé économiquement | | | | | | | | | | |
| déterminé politiquement | | | | | | | | | | |
| coupé(e) de l'éthique | | | | | | | | | | |
| coupé(e) des croyances spirituelles | | | | | | | | | | |

Sc = sciences, Ma = mathématiques, An = anglais, Fr = français, H = histoire, T = technologie, Mu = musique, Ar = arts, R = enseignement religieux, Géo = géographie.

Pour chaque discipline, examinez dans quelle mesure s'applique chacune des caractéristiques listées et attribuez une note sur une échelle de 0 à 5 (0 indique que la caractéristique ne s'applique pas du tout et 5 qu'elle s'applique totalement)

PRÉSENTATION DE REVUES EUROPÉENNES DE DIDACTIQUE DES SCIENCES EXPÉRIMENTALES

Les revues européennes présentées ici sont soit des revues de recherche concernées par la didactique des sciences, soit des revues d'associations d'enseignants qui donnent une place aux travaux de didactique des sciences.

Nous ne pouvions présenter ici qu'un panorama restreint. Nous nous sommes donc limités, dans un premier temps, à un petit nombre de revues pour les pays suivants :

- pour l'Allemagne, *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht* et *Unterricht Physik* ;
- pour l'Espagne, *Enseñanza de Las Ciencias* et *Investigación en la Escuela* ;
- pour la France, *Aster* et *Didaskalia* ;
- pour la Grande-Bretagne, *International Journal of Science Education*, *Research in Science and Technological Education* et *Studies in Science Education* ;
- pour l'Italie, *La Fisica Nella Scuola*.

Ce panorama pourra être complété dans les numéros suivants de la revue.

Pour chaque revue, on trouvera :

- un texte de présentation, en français,
- le sommaire d'un numéro récent, dans la langue de publication, de façon à donner une idée précise du contenu de la revue,
- le nombre de numéros par an et les références de la rédaction et de l'éditeur.

Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht publie les résultats professionnels et didactiques de recherches en mathématiques, physique, chimie et biologie dans l'enseignement secondaire. Sont privilégiés les articles dont les contenus sont transposables à l'éducation scolaire, les analyses de problèmes didactiques et méthodologiques, les informations sur les nouvelles méthodes expérimentales et les articles sur la formation des enseignants.

La revue s'intéresse également aux travaux sur l'environnement technique et naturel et sur les thèmes transversaux par rapport aux disciplines mathématiques et scientifiques.

47. Jahrgang, Heft 8

1. Dezember 1994

H. Joachim Schlichting : *Auf der Grenze liegen immer die seltsamsten Geschöpfe – Nichtlineare Systeme aus der Perspektive ihrer fraktalen Grenzen*

Schulpraxis

Walfried Krömker : *Einführung des Lehrsatzes von Pythagoras in Klasse 9*

Heinrich Brockmeyer : *Generieren von Polygonalzahlen und deren Pyramidenzahlen durch fortgesetzte Summation*

Inge Hachtel : *Der Zyklenzeiger einer Gruppe – Lösungen kombinatorischer Probleme mit Hilfe der Gruppentheorie*

Bernd Frieze : *Zur Genauigkeit von pH-Wert-Berechnungen schwacher Säuren*

Frank Thiemann, Alfred Flint, Walter Jansen : *Zur Ermittlung der Konstitutionsformel des Ethanolmoleküls*

Michael Schade, Jürgen Storrer : *Umwelterziehung im Biologieunterricht: Wissenswertes und Schulversuche zur Kompostierung*

Aufgaben

Aufgaben für Mathematikzirkel der Mittelstufe

Geschichte des Physikunterrichts

Peter Rösch : *Ernst Grimsehl – Lehrer, Physiker, Techniker: Zum 80. Todestag von Ernst Heinrich Grimsehl am 30. Oktober 1994*

Physik – Kosmologie – Philosophie

Bruno Heller : *Die Zukunft des Universums*

Zur Diskussion gestellt

Heinz Schumann : *Ansatzorientiertes Lösen stereometrischer Aufgaben mit Computer-Algebra*

Mitteilungen des Fördervereins MNU

OStD i. Prof. Dr. Fra,z Mutscheller verstorben

Informationen – Tagungen

29. Bundeswettbewerb Jugend forscht '94 in Magdeburg

V. Internationale Biologieolympiade

Bericht über die XXXV, Internationale Mathematikolympiade (IMO)

12. Sommersymposium vom 25.-27. Mai 1994 an der Universität Dortmund

Didacta '95

DPG-Tagung 1995

Weitere Tagungen

Besprechungen

Zeitschriften Chemie

Bücher

Rédacteurs en chef : H. Schmidt, G. Starke, H. Krüger, O. Düll, D. Graf

Périodicité : 4 numéros par an

Éditeur : Duemmlers Verlag

Adresse : Kaiserstraße 31-37, 53113 Bonn. Allemagne

Naturwissenschaften im

Unterricht

Physik

Naturwissenschaften im Unterricht Physik *visé à contribuer au développement de l'innovation dans l'enseignement secondaire. La revue souhaite des contributions à la fois d'enseignants et d'universitaires et veut mettre en relation les expériences d'enseignement et le point de vue de la recherche didactique.*

La plupart des numéros sont centrés sur un thème, par exemple : les expériences en physique, l'astronomie, l'énergie électrique.

Basisartikel

Otto Ernst Berge
Physikalische und didaktische Aspekte der Reibung

Otto Ernst Berge
Anwendungen der Reibungsphysik

Unterrichtspraxis

Helga Behrendt
Die Reibung - zwei Seiten einer Medaille

Otto Ernst Berge
Versuche zur Reibung

Michael Pabst-Krueger
Reibung an Fahrradreifen

Otto Ernst Berge
Freihandversuche zur Reibung

Otto Ernst Berge
Sandheufen und Bergstürze

Klaus Morgenstern
Die Reibungsbremse

Magazin

Zeitschriftenumschau

Information

Buchrezension

Vorschau/Rückschau/Impressum

Kurzfassungen

**Heft 25,
Dezember 1994
5. Jahrgang**

Rédacteurs en chef : O.E. Berge, R. Duit, G. Merzyn, M. Volkmer
Périodicité : 5 numéros par an
Éditeur : Erhard Friedrich Verlag, GmbH & Co. KG
Adresse : Postfach 100150, 30917 Seelze, Allemagne

ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Revista de investigación y experiencias didácticas

La revue "Enseñanza de las Ciencias" s'adresse aux chercheurs en didactique des sciences expérimentales et en didactique des mathématiques ainsi qu'aux professeurs intéressés par la recherche dans ces domaines.

Elle se fixe trois objectifs prioritaires :

- approfondir la réflexion sur les principales orientations de recherche actuelles et leurs perspectives, en publiant des études interprétatives qui permettent d'avancer dans la compréhension de l'apprentissage scientifique ;
 - promouvoir des travaux qui répondent aux besoins des enseignants de sciences et de mathématiques en relation avec la gestion de la classe, les degrés d'implication des étudiants dans leur apprentissage, leur autonomie ou leur dépendance, l'attention aux diversités d'intérêts et de niveaux des étudiants, la régulation des erreurs ;
 - susciter des analyses critiques et une discussion des différentes publications et des travaux de recherche actuels.
-

ÍNDICE VOL. 12 N° 3 – Noviembre 1994

INVESTIGACIÓN Y EXPERIENCIAS DIDÁCTICAS

Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio, *Hodson, D.*

La integración del momento de la técnica en el proceso de estudio de campos de problemas de matemáticas, *Bosch, M. y Gascón, J.*

Il problema della comunicazione linguistica a scuola: il linguaggio scientifico e chimico in particolare, *Borsese, A.*

Redes conceptuales: su aplicación como instrumento didáctico en temas de física, *Galagovsky, L.R. y Ciliberti, N.*

Un análisis de las concepciones acerca de la naturaleza del conocimiento científico de los profesores portugueses de la enseñanza secundaria, *Praia, J. y Cachapuz, F.*

Influencia de la enseñanza asistida por ordenador en el rendimiento y las ideas previas de los alumnos en electricidad, *Gómez Crespo, M.A.*

Curso de ingreso en química a la universidad: un espacio de revisión y aprendizaje conceptual, *Raviolo, A. y Andrade, J.*

El concepto de energía en los libros de textos: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje, *Michinel, J.L. y D'Alessandro Martínez, A.*

Experiencias de cátedra en las clases de física de primer curso de Escuelas Técnicas, *Meseguer, J.M. y Mas, J.*

OTROS TRABAJOS

La utilización del ordenador en la realización de experiencias de laboratorio, *Herrán, C. y Parrilla, J.L.*

Los procedimientos en el aprendizaje de la física, *Sevilla, C.*

Mecánica de los diagramas ternarios: aplicación en el diagrama de clasificación de las rocas ígneas de Streckeisen, *Castaño, S.*

Utilización de los ordenadores en la enseñanza de las ciencias, *Valdés, P. y Valdés, R.*

HISTORIA Y EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS

Historia del concepto de especie en biología, *Barberá, Ó*

INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y NOTICIAS

INTERCAMBIOS, COMENTARIOS Y CRÍTICAS

Rédacteur en chef : Neus Sanmarti

Périodicité : 3 numéros par an

Éditeur : Institut de Ciències de l'Educació, Universitat Autònoma de Barcelona

Adresse : Edificio A, 08193 Bellaterra (Barcelona), Espagne

Investigación en la Escuela

La revista *Investigación en la Escuela*, órgano de difusión d'un grupo d'enseñants lié au département de didáctica des ciencias de l'université de Séville, publie des réflexions, recherches et expériences pédagogiques concernant l'apprentissage des sciences expérimentales, des sciences sociales et des mathématiques, aux différents niveaux du système éducatif.

En s'appuyant sur les principes et les concepts didactiques (représentations, obstacles, problématisation des contenus, théorisation des modèles didactiques, constructivisme complexe et critique), les articles traitent de problèmes-clés pour l'enseignement scientifique, tels les suivants : qu'est-ce que les disciplines peuvent apporter à la formation du citoyen ? quels sont les concepts et processus scientifiques les plus pertinents pour favoriser chez les élèves une meilleure compréhension du réel ? quelles stratégies et méthodes d'enseignement-apprentissage garantissent une construction personnelle et socialisée des connaissances ? comment prendre en compte le développement de compétences professionnelles des enseignants dans les propositions de changements curriculaires ?

INDICE

| | |
|---|--|
| Editorial | El conocimiento escolar |
| Fundamentos | |
| <i>M.J. Rodrigo</i> | El hombre de la calle, el científico y el alumno: ¿un solo constructivismo o tres? |
| <i>D. Gil</i> | Relaciones entre conocimiento escolar y conocimiento científico |
| <i>R. Cubero</i> | Concepciones alternativas, preconceptos, errores conceptuales... ¿distinta terminología y un mismo significado? |
| <i>D. de J. Segura</i> | El pensamiento de los alumnos: testimonios de clase (elementos para una discusión) |
| Investigación, innovación y evaluación | |
| <i>M. Cubero</i> | Conocimiento escolar/Conocimiento cotidiano: un análisis socio-cultural del estancamiento en la alfabetización de personas adultas |
| <i>M.J. Marco</i> | El conocimiento escolar como un proceso evolutivo: aplicación al conocimiento de nociones ecológicas |
| <i>J.E. García</i> | La alimentación humana como conocimiento escolar en la enseñanza primaria |
| <i>J. Martín y otros</i> | Los ámbitos de investigación como organizadores del conocimiento escolar en la propuesta curricular <i>Investigando Nuestro Mundo</i> (6-12) |
| <i>P. Cañal</i> | Epistemología, historia de las ciencias y abejas |
| <i>E. Pedrinaci</i> | Difficultades en el aprendizaje significativo de algunos conceptos de electrostática |
| <i>J. Guisasaola</i> | |
| <i>C. Furió</i> | |

Investigación en la Escuela N° 23, 1994

Equipe de rédaction : P. Cañal, J.E. García, F.F. García, J.J. García, A.I. Lledó, J. Martín, R. Porlán
Périodicité : 3 numéros par an
Éditeur : Diada Editoras, S. L.
Adresse : c/Isaac Albéniz, 3, bajo, dcha. 41007 Sevilla, Espagne

ASTER

recherches en didactique des sciences expérimentales

Une des finalités de la recherche en didactique est de produire des connaissances utiles pour comprendre les phénomènes d'apprentissage et pour améliorer l'enseignement. Du point de vue de la pratique, il est important de faire fonctionner les théories et les outils de description et d'analyse développés par la recherche et de formuler de nouveaux questionnements. C'est cette rencontre entre les points de vue et les travaux d'orientation théorique et ceux issus de la pratique qu'ASTER veut favoriser.

La revue publie des études et des recherches sur l'enseignement des sciences expérimentales, des travaux issus d'autres disciplines qui éclairent les questions proprement didactiques, des descriptions d'activités pédagogiques. Chaque numéro est centré sur un thème.

ASTER s'ouvre de plus en plus à des contributions internationales, favorisant ainsi la circulation d'idées dans le champ de la didactique des sciences expérimentales.

Aster 18 - 1994

La réaction chimique

numéro coordonné par Dominique Rebaud

Présentation du numéro

Dominique Rebaud

Relevé de quelques obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de réaction chimique

Josette Carretto, Roger Viovy

L'équation-bilan en chimie, un concept intégrateur source de difficultés persistantes

Roger Barlet, Dominique Plouin

Point de vue à propos des équilibres chimiques

Claudine Larcher

Faut-il construire le concept de substance ?

Ezio Roletto, Bruno Piacenza

Les transformations des substances, enjeu de l'enseignement de la réaction chimique

Christine Solomonidou, Hélène Stavridou

"Expérience-découverte", combustions et transformations de la matière à l'école élémentaire

André Laugier, Maurice Pasdeloup

D'une représentation à une autre pour modéliser les transformations de la matière au collège

Claudine Larcher, Alain Chomat, Catherine Lineatte

L'apprentissage de la réaction chimique comme activité de recherche

Carles J. Furió, Juan Bullejos, Esteban de Manuel

Le concept de réaction chimique en gestation

Maurice Pasdeloup, André Laugier

Lavoisier, Priestley, le phlogistique et l'oxygène

Jean-Paul Gaudillière

Tentative de définition d'un savoir professionnel sur le changement chimique pour la formation des enseignants

Rosa Martín del Pozo

Rédactrice en chef : Anne Vérin

Périodicité : 2 numéros par an

Éditeur : Institut National de Recherche Pédagogique

Adresse : 29 rue d'Ulm, 75230 Paris, France

DIDASKALIA

Recherches sur la communication et l'apprentissage des sciences et des techniques

Face au défi que représente, aujourd'hui, la formation scientifique et technique, enseignants, chercheurs et formateurs ont développé des études empiriques et théoriques des processus d'enseignement, d'apprentissage et de diffusion des sciences. Didaskalia vise à contribuer au développement de la recherche en didactique et à favoriser la diffusion, en langue française, des recherches et des innovations ; elle participe ainsi au renforcement de la communauté internationale de recherche en didactique des sciences et des techniques.

S'adressant aux chercheurs, aux formateurs, aux enseignants des différents niveaux ainsi qu'à tous ceux qui s'intéressent à la culture scientifique, la revue propose des articles de recherche, des points de vue et des comptes rendus d'innovation, des notes de lecture.

4

septembre 1994

ARTICLES DE RECHERCHE

■ Didactique et formation professionnelle

A. Mercier : *Des études didactiques pourraient-elles aider l'enseignement des savoirs professionnels ?*

J. Bazile : *Conceptions des opérateurs du secteur agro-alimentaire en matière de microorganismes. Incidence sur la formation professionnelle à l'hygiène et à la qualité des produits*

P. Marzin : *Analyse de conceptions d'éleveurs concernant des pratiques sanitaires*

■ R. Amigues, J. Ginestié, S. Johsua : *La place de la technologie dans l'enseignement général et les recherches actuelles sur son enseignement*

POINT DE VUE de responsables industriels

Y. Ocello, R. Helliet : *La formation continue dans une usine d'un grand groupe industriel*

A. Tiberghien : *Commentaires du point de vue de la didactique*

COMPTES RENDUS D'INNOVATIONS

M. Méaille, É. Marshall (propos recueillis par P. Prévost) : *La formation professionnelle agricole. Tendances et perspectives*

J.-C. Vachon, M. Fortin : *Développement de la compétence à résoudre des problèmes sur les nouvelles technologies de l'automobile*

P. Koumaras, P. Kariotoglou, D. Psillos : *Devons-nous utiliser des phénomènes évolutifs en introduction à l'étude de l'électricité ? Le cas de la résistance*

NOTES DE LECTURE

ACTUALITÉ DES COLLOQUES

Rédacteurs en chef : André Tiberghien, Jacques Besançon, Martine Méheut
Périodicité : 3 numéros par an
Éditeur : De Boeck / INRP
Adresse : De Boeck-Wesmael. Département abonnements
Fond Jean Pâques, 4 - B-1348, Louvain-la-Neuve, Belgique

INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENCE EDUCATION

International Journal of Science Education est consacré à la publication d'articles, de rapports et d'informations sur tous les aspects et dans tous les domaines de l'éducation scientifique et technologique. La revue se propose de rendre compte des principales avancées et des courants actuels dans la théorie et dans la pratique de l'éducation scientifique ; de jouer un rôle pour la diffusion des recherches et des résultats de recherche sur l'éducation scientifique ; de faciliter le transfert et l'enrichissement mutuel des connaissances entre les pays dans ce domaine ; de promouvoir la compréhension des interactions entre l'éducation scientifique et des facteurs externes tels que l'industrie, la politique, l'économie et les représentations sociales ; de proposer un forum pour l'échange de vues et d'opinions sur toutes les questions dans ce domaine.

Parmi les recherches sur l'éducation scientifique, la revue porte un intérêt particulier aux recherches qui peuvent être appliquée à l'enseignement. Le lectorat de la revue étant largement international, il est demandé aux auteurs de préciser la pertinence de leurs résultats et de leurs analyses pour d'autres systèmes éducatifs et de décrire le système éducatif dans lequel se situe leur travail.

Vol. 16 No. 6 November–December 1994

General Article

HPS and school science education: remediation or reconstruction?
E. W. Jenkins

Scientific thought as dogmatism
Bryant E. Griffith and Garth D. Benson

Research Reports

A case study of a national science curriculum and teacher conflict
Alejandro José Gallard and James J. Gallagher

Knowing and teaching science: the constructivist paradox
W. Louden and J. Wallace

Factors affecting students' choice of science and engineering
Brian E. Woolnough

Toward a functional learning system for Solomon Island secondary science classrooms
P. M. Ninnes

Book reviews

| |
|--|
| <p>Rédacteur en chef : John K. Gilbert Rédacteurs régionaux : Beverley Bell, Gaalen Erickson Périodicité : 6 numéros par an Éditeur : Taylor & Francis Ltd Adresse : 4 John Street, London WC1N 2ET, Grande-Bretagne</p> |
|--|

RESEARCH IN SCIENCE & TECHNOLOGICAL EDUCATION

Research in Science and Technological Education publie les résultats de recherches empiriques dans les domaines de l'éducation scientifique et de l'éducation technologique, portant sur tous les âges, scolaires et post-scolaires. Elle se propose de diffuser des travaux issus de perspectives psychologiques, sociologiques, économiques sur l'éducation scientifique, et des initiatives technologiques en direction de chercheurs spécialisés dans ces domaines, d'étudiants et d'enseignants. Des études évaluatives d'initiatives de développement curriculaire et d'innovations curriculaires sont également bienvenues.

La revue vise avant tout à encourager les recherches de qualité conduisant à une amélioration des pratiques et à des résultats en termes de comportements, d'organisation de l'enseignement et d'apprentissage dans les établissements scolaires. Cette ambition est internationale et dans ce but elle se propose de publier, autant que possible, dans chaque numéro, des articles provenant de travaux conduits dans des contextes éducationnels et des pays variés.

Volume 12, Number 2, 1994

Pinchas Tamir. Israeli Students' Conceptions of Science and Views about the Scientific Enterprise

Tony Fetherstonhaugh. Using the Repertory Grid to Probe Students' Ideas about Energy

Peter Swatton. Pupils' Performance within the Domain of Data Interpretation, with Particular Reference to Pattern Recognition

Edward Boyes & Martin Stanisstreet. Children's Ideas about Radioactivity and Radiation: sources, mode of travel, uses and dangers

J. N. Collings. Some Fundamental Questions about Scientific Thinking

M. Barak, R. Yehiav & N. Mendelson. Advancement of Low Achievers within Technology Studies at High School

Kola Soyibo. Occupational Stress Factors and Coping Strategies among Jamaican High School Science Teachers

R. M. Garrett & J. M. Sanchez Jimenez. Difficulties in Resolving Science Problems: a comparative study of English and Spanish pupils' opinions

Nir Orion. A Short-term and Long-term Study of a Science Investigation Project in Geology, Used by Non-science High School Students

Rédacteur en chef : Chris R. Brown

Périodicité : 2 numéros par an

Éditeur : Carfax Publishing Ltd

Adresse : P.O. Box 25, Abington, Oxfordshire OX14 3UE, Grande-Bretagne

STUDIES IN SCIENCE EDUCATION

Studies in Science Education est une revue internationale de recherche s'adressant à tous ceux qui s'intéressent aux dimensions éducatives des sciences. Elle n'entend pas rivaliser avec les revues existantes, mais se propose de les compléter en proposant des articles de synthèse à propos de recherches sur des aspects spécifiques de l'enseignement scientifique et en mettant en relation, à l'occasion de revues de questions, des travaux récents publiés parfois dans des lieux très divers. Sa politique éditoriale est d'encourager des travaux reflétant une large variété de points de vue, parmi lesquels ceux de l'administration, de l'anthropologie, de l'analyse curriculaire, de l'histoire, de la linguistique, de la philosophie, de la politique, de la psychologie et de la sociologie.

VOLUME 24 1994

CONTENTS

Articles

Paul Gardner

Representations of the Relationship between Science and Technology in the Curriculum

Colin Wood-Robinson

Young People's Ideas about Inheritance and Evolution

Deborah Pomeroy

Science Education and Cultural Diversity: Mapping the Field

Rosalind Driver,

John Leach,

Philip Scott and

Colin Wood-Robinson

Young People's understanding of science concepts; implications of cross-age studies curriculum planning

Research Reports

J. F. Donnely

Policy and Curricular Change : Modelling Science in the National Curriculum for England and Wales

Barbara Soren,

Joel Weiss and

Luigia Divitiis

Studying Science Culture: A Science/Technology/Engineering Educational Partnership

Book Reviews

Sara Delamont

Can there be non-racist science ?

Skip Hills

What's science got to do with it ?

Michael Matthews

Discontent with Constructivism

Rédacteur en chef : Edgar Jenkins

Périodicité : 1 ou 2 numéros par an

Éditeur : Université de Leeds

Adresse : Driffield Road, Nafferton, Yorkshire, YO25 OJL, Grande-Bretagne

LA FISICA NELLA SCUOLA

La Fisica nella Scuola est la revue de l'association italienne pour l'enseignement de la physique (Associazione per l'Insegnamento della Fisica).

Ses objectifs principaux sont d'aider à :

- l'amélioration de l'enseignement de la physique dans l'enseignement supérieur et de l'enseignement des sciences dans l'enseignement primaire et secondaire ;
- la mise à jour des connaissances des enseignants de physique ;
- l'échange d'expériences dans le domaine de la recherche sur l'enseignement ;
- la meilleure connaissance de nouvelles méthodes d'enseignement et d'innovation.

Les auteurs sont des enseignants et des chercheurs universitaires.

ANNO XXVII - N. 4

OTTOBRE-DICEMBRE 1994

sommario

- Alcune considerazioni sul laboratorio di fisica e chimica (**P. Violono**)
- Abbiamo chiesto un contributo a... (**M. Francesio**)

CULTURA

- Legge e caso alle origini della fisica contemporanea (**G. Zanarini**)

DIDATTICA

- Attività didattiche basate su elaboratore per l'integrazione tra fisica e matematica nel biennio della scuola secondaria superiore (**E. Balsamo, E. Sassi, G. D'Ajello Caracciolo, G. Paolantonio**)

PROBLEMI ED ESERCIZI

- Il ruolo della risoluzione dei problemi nell'insegnamento della fisica (**M. Hribar**)

NOTE DI LABORATORIO

- La Bilancetta del signor Galileo Galilei (**G. Bonera**)
- Scienza e... magia (**V. Zanetti**)
- Come costruire un semplice elettroforo di Volta (**M. Francesio**)

NOTE DI ELLETRONICA

- Cos'è un lock-in? a che cosa serve? come costruirne uno? (**G. Delfitto, G. Torzo**)
- Cristoforo Colombo, il cannocchiale e la pubblicità (**G. Pezzi**)

LETTERE A "LA FISICA NELLA SCUOLA"

- Due fotografie (**V. Zanetti**)

Rédacteur en chef : Luigi Brasini

Périodicité : 4 numéros par an, numéros spéciaux sur des thèmes de didactique ou de physique (environ un par an)

Éditeur : Dipartimento di Fisica dell'Università

Adresse : 41100 Modena. Italie