

THÈMES, THÈSES, TENDANCES

Guy Rumelhard

tendances de
la recherche et
de l'innovation

La constitution d'une nouvelle association qui se préoccupe de recherche en didactique des sciences et des techniques (ARDIST) (*) est l'occasion de faire le point sur les thèmes de recherche, les thèses soutenues, les tendances de la réflexion et de l'innovation dans ce domaine. Pour tracer avec pertinence quelques perspectives de développement il n'est pas inutile de s'appuyer sur un retour rétrospectif.

Plusieurs limites sont à tracer pour délimiter le champ du regard. Tout d'abord les matières d'enseignement : sciences et techniques, ou plus précisément sciences de la matière, de la vie, de la terre (certains ajouteront de l'univers), techniques, technologies, ou génie (mécanique, électrique, biologique, des matériaux) santé, environnement, agroalimentaire. Chaque discipline peut être prise isolément, mais surtout dans ses entrecroisements interdisciplinaires d'où le regroupement en sciences (expérimentales ou non) et techniques.

les problèmes
centraux de la
didactique

Au cœur des recherches sur toutes ces disciplines d'enseignement on rencontre le problème de leur constitution, de leur délimitation et surtout des relations entre sciences, techniques et société, ou bien, pour le dire en termes philosophiques, des relations entre savoirs, libertés et pouvoir, ou bien, pour le dire en termes cognitifs, des relations entre comprendre et faire, entre technique et langage.

jusqu'où
remonter
historiquement

Les différents niveaux d'enseignement sont concernés, même si, actuellement l'attention portée à chaque niveau École, Collège, Lycée, Université est très inégal. Les limites institutionnelles de recherche sont plus incertaines : individus isolés, commissions, laboratoires, départements, unités, instituts ont des contours fluctuants. Ils conditionnent la remontée dans le temps. Une séquence de dix ans marquera l'explosion des thèses, une séquence de vingt ans marquera leur début dans quelques universités. Au-delà, on découvrira soit de petites équipes qui articulent innovations et travaux plus méthodiques, soit des individus isolés. Mais la référence constante et encore actuelle par exemple à Piaget, à Bachelard et à Canguilhem ouvre une perspective de plus de soixante ans. Parmi les disciplines universitaires qui prennent l'enseignement et l'apprentissage des sciences comme objet d'étude, toutes n'ont pas la même finalité et n'attribuent pas à cet enseignement le même objectif explicite, implicite ou volontairement masqué.

De ce vaste programme les textes qui suivent n'offrent que quelques échantillons. Plusieurs options ont été adoptées :

(*) Président : Professeur Michel CAILLOT, siège social Université René Descartes, 45 rue des Saint-Pères - 75270 Paris cedex 06

décrire
ce qui se fait
et/ou porter
des jugements

- décrire ce qui existe et se fait actuellement, sans porter de jugement,
- proposer des regroupements qui dessinent des courants ou des tendances tout en présentant un état aussi complet que possible de la question,
- ou bien, comme dans le cas de la santé, plutôt que d'évoquer les très nombreuses initiatives prises dans ce domaine, proposer d'en repenser totalement le concept.

Autant que possible en évoquant les débats et les tensions, les textes ont évité les querelles et les procès en exclusion. Par exemple, la recherche de théories de l'apprentissage doit-elle être située au cœur de la didactique ou bien considérée comme un faux problème ? Les bibliographies proposées par les différents auteurs sont abondantes et parfois répétitives. Nous n'avons pas cru devoir les regrouper car elles contribuent à définir les dominantes de chacun. C'est ce qui pourra faire de ce numéro un ouvrage de référence(s).

Guy RUMELHARD
Lycée Condorcet, Paris
Unité "Didactique des sciences
expérimentales", INRP

REPÈRES POUR UNE HISTOIRE DE LA DIDACTIQUE DES ENSEIGNEMENTS TECHNOLOGIQUES

Joël Lebeaume

L'article propose quelques jalons pour une histoire de la didactique des disciplines technologiques grâce au repérage des travaux et recherches sur et pour ces enseignements. La chronologie reconstruite qui examine aussi l'organisation institutionnelle de la recherche, cherche à identifier les origines de ce questionnement, ses intentions fondatrices et ses caractéristiques.

enquête
centrée
sur la France

Les éléments présentés constituent une contribution à l'histoire de la didactique des enseignements technologiques. Ils proposent les repères essentiels permettant de saisir l'émergence de cette discipline de recherche d'une part, et de situer son institutionnalisation d'autre part. Conduite à partir de la consultation des traces disponibles de ces travaux et études ainsi que de l'entretien avec les acteurs, les promoteurs et les participants de cette création (1), l'enquête historique permet de proposer une chronologie en trois volets, présentée en annexe. Centrée exclusivement sur la France, elle n'examine pas les relations possibles avec un développement éventuel à l'étranger.

Si les travaux concernant l'école moyenne sont plus nettement repérés, ils demeurent néanmoins inscrits dans un mouvement de recherche plus large autour de l'élaboration des contenus dans les différents segments de l'École, pour les formations professionnelles (2) et l'enseignement général. En ce sens, dès 1969, la recherche "*Étude de quelques problèmes théoriques et pratiques posés par l'initiation à l'étude des faits naturels dans le cadre des disciplines d'éveil*" (3) contribue notamment à la construction de l'initiation physique et technologique à l'école. De même, les repères proposés pour saisir l'émergence de cette discipline de recherche ne font pas état des travaux les plus récents (4).

-
- (1) Je remercie en particulier : Jean Chabal, Jean-Louis Martinand, Guy Cruz et François Harsany.
 - (2) Par exemple les travaux d'A. Lazar portant sur la sténographie ou de J.-F. Lévy portant sur le traitement de texte.
 - (3) Remarque : recherche coordonnée par V. Host, INRDP : voir en particulier HOST, V. & MARTINAND, J.-L. coord. (1975). *Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire - Initiation physique et technologique*, 74. Paris : INRDP, Coll. *Recherches pédagogiques*.
 - (4) Voir par exemple : VÉRILLON, P. (1988). *Conceptualisation géométrique et activité d'usinage*. Paris : INRP (coll. Rapports de recherche sur les enseignements technologiques); CRINDAL, A. & CRUZ, G. (1996). *Élargir le champ possibles à propos de la démarche de projet*. Paris : CNM-INRP, (rapports intermédiaires).

L'examen historique de la didactique des enseignements technologiques s'inscrit dans l'évolution et la structuration de l'enseignement technique, d'abord rappelées. Sont ensuite précisés d'une part quelques travaux et problématiques, et d'autre part l'organisation de la didactique comme discipline de recherche.

1. DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE À L'ENSEIGNEMENT TECHNOLOGIQUE

1.1. Évolutions structurelles

l'enseignement
technique
intégré au
système
éducatif

L'organisation de l'enseignement technique en France est particulièrement marquée par ses évolutions structurelles (P. Pelpel & V. Troger, 1993). Distinct de l'ordre primaire structuré autour de l'obligation scolaire, de l'ordre secondaire composé de lycées et de collèges, ce troisième ordre d'enseignement initialement sous la tutelle des ministères du commerce et de l'industrie est ainsi progressivement contrôlé par le ministère de l'instruction publique (Loi Astier, 1919). Les évolutions de l'enseignement technique sont également associées à la prolongation de la scolarité obligatoire (Loi Berthoin, 1959). Celle-ci implique les modifications du projet culturel de l'École et des changements importants dans les effectifs accueillis. Elle s'accompagne de profondes évolutions des certifications professionnelles et de l'organisation d'une formation technique longue.

1.2. Des techniciens à former

des ouvriers aux
techniciens

En outre, l'évolution parallèle des sciences et des techniques à l'époque de la modernité conduit, au-delà des modifications structurelles de l'école en système éducatif, à des innovations pédagogiques et didactiques contribuant à la formation des techniciens qui ne sont plus les hommes de métiers doués d'un talent acquis au fil de l'expérience. La formation des techniciens ne peut plus être conçue à l'image de celle des ouvriers qualifiés. À la fin des années 1950, les ruptures qu'annoncent le développement de l'automatisation, l'accroissement des capacités de mémoire simultanément accompagné de la chute du coût des ordinateurs ainsi que la société de consommation, supposent en effet des formations à la hauteur des enjeux économiques que les trente glorieuses confirmeront.

1.3. Culture technique comme valeur nouvelle

Ces changements altèrent simultanément les valeurs qui légitimaient jusqu'alors l'organisation des contenus scolaires. Les pages de la revue "*L'Éducation Nationale*" conservent les

technique puis
technologique

traces de ces débats sur le progrès et le nouvel humanisme qu'ils supposent et qu'ils imposent (5). À cette époque de l'Exposition de Bruxelles (1958) qui pose clairement ces questions de valeurs, l'idée et la revendication de la "culture technique" apparaît sous les plumes d'A. Campa, J. Capelle... La technique interroge ; elle se pense et G. Simondon (1958) (6) en suggère le fondement philosophique. Cet engagement pour la culture technique est poursuivi dans les années 1970 en particulier par J. Chabal (7). Au milieu des années 1980, l'accès au monde de la technique pour tous devient une nécessité évidente, ce que promeut le "*Manifeste pour la culture technique*" (8). Le mot "technologie" se substitue désormais au mot "technique" ; la "technologie" devient une discipline ; les "enseignements technologiques" remplacent les "formations techniques".

2. QUELS ENSEIGNEMENTS ?

les contenus
en question

Au début des années 1960, les contenus des enseignements technologiques suscitent des questionnements dictés par deux enjeux distincts. L'expérimentation à partir de 1962 de la technologie – dite Capelle – conduit d'une part, à inventer la technologie en tant qu'enseignement général. La formation des maîtres dans les ENNA incite d'autre part, à proposer des contenus adaptés à la nouvelle génération de techniciens pour anticiper les évolutions techniques (9).

2.1. Les principes d'un enseignement de la technologie

En 1956, la technologie est définie comme "*l'étude des règles de la construction des organes de machines*" (10). Elle présente une nomenclature de solutions constructives et un inventaire exhaustif des procédés, selon les principes de son enseignement dans les écoles primaires supérieures du début du siècle, pour lesquelles "*la technologie est la science des arts industriels ; elle explique les applications qu'ils font des sciences pures*" (11). À l'époque de la modernité où

(5) Voir notamment les textes parus dans *L'Éducation Nationale* en 1962 et 1963.

(6) SIMONDON, G. (1958). *Du mode d'existence des objets techniques*. Paris : Aubier-Montaigne.

(7) CHABAL, J. (coord). (1969). "La valeur culturelle de la technologie". *L'U.S. n° 4*, 20-31.

(8) CRCT (1981). *Manifeste pour le développement de la culture technique*. Paris (Centre de Recherche sur la Culture Technique).

(9) Voir DOULIN, J. (1995). "Les graphismes techniques, un demi-siècle d'évolution". *Cibles*, 31, 33-37. Nantes : IUFM.

(10) NORBERT, M. (1956). *Cours de dessin industriel et de technologie des machines. Troisième partie, Tome I, Technologie*. Uzès : Ateliers Henri Peladan. P. 5.

naît la revendication de "l'intelligence des machines", est progressivement élaborée entre 1964 et 1968, "une méthodologie de la construction mécanique" par J. Chabal, R. Ducler et R. de Preester (1973) (12). Cette "analyse et synthèse technique" suppose un enseignement nouveau : "la technologie de construction découlera d'une structuration progressive des études de cas, non d'une approche exhaustive conduite a priori et hors contingences". En relation avec les travaux de psychologie, en particulier de l'INOP (13) où A. Léon a développé une conception éducative de l'orientation qui s'oppose à la notion d'aptitude (R. Ouvrier-Bonnaz, 1998), ces propositions et ces réflexions sont encouragées par trois inspecteurs généraux A. Campa, Chappert et L. Géminard (14). Le CERPET (15) assure alors la diffusion nationale de l'analyse et synthèse technique grâce à l'organisation de séminaires académiques animés par J. Chabal et R. de Preester.

2.2. L'analyse technique

Pour les élèves des classes de Quatrième et de Troisième des collèges, l'élaboration de situations d'enseignement-apprentissage fondées sur une initiation à l'analyse technique conduit à des innovations pédagogiques contrôlées. Autour de A. Payan, R. Vento et C. Chirouze (16) contribuent à la généralisation d'activités scolaires expérimentées dans les écoles normales, centres de formation des professeurs de collège. Elles seront reprises dans la "technologie-physique" obligatoire à partir de 1970. Y. Deforge (17) apporte également sa contribution originale dans la proposition de supports pédagogiques et la réalisation des émissions de Radio-Télévision-Scolaire qui assurent la diffusion de ces innovations.

-
- (11) BOIS, J.-F. & JACQUEMART, P. (1920). *L'industrie de nos jours - Technologie vulgarisée*. Paris : Delagrave. P. 1.
- (12) CHABAL, J., PREESTER, R. de, SCLAFER, J., DUCEL, R. (1973). *Méthodologie de la construction mécanique*. Paris : Foucher. (Préface d'A. Campa)
- (13) Voir par exemple LÉON, A. (1957). *Psychopédagogie de l'orientation professionnelle*. Paris : PUF. GILLET, B. & CHARMET, P. (1975). "Psychopédagogie de l'enseignement des objets techniques". *Bulletin de psychologie*, 949-955. Remarques : c'est sur ces fondements que M. Postic propose son livre : POSTIC, M. (1971). *Introduction à la pédagogie des enseignements techniques*. Paris : Foucher (préface d'A. Campa). Les travaux de P. Vermersch s'inscrivent dans cette lignée : VERMERSCH, P. (1977). "Analyse de la tâche et fonctionnement cognitif dans la programmation de l'enseignement". *Bulletin de psychologie*, 343, 179-187.
- (14) GÉMINARD, L. (1967). *Pédagogie et technologie*. Paris : MEN-IPN, 10 p.
GÉMINARD, L. (1970). *Logique et Technologie*. Paris : Dunod.
- (15) Centre de Recherche et de Productivité de l'Enseignement Technique, dirigé par l'Inspecteur Général Chappert.
- (16) CHIROUZE, J.-P. (1967). *La technologie et son expression graphique - Guide pédagogique*. Paris : Armand Colin.
- (17) DEFORGE, Y. (1965). "Introduction à la technologie". *Dossiers documentaires*, n° 71. Paris : IPN.
DEFORGE, Y. (1973). *L'éducation technologique*. Paris : Casterman.

2.3. Des activités de fabrication

initiation
aux sciences et
aux techniques

En 1970, est créée une commission de réforme de l'enseignement de la physique présidée par le professeur Lagarrigue. Pour les collèges, elle reçoit la mission de proposer des projets d'enseignement. Dans sa lettre de mission, le ministre O. Guichard spécifie les caractères de l'enseignement réformé : *“La commission s'attachera, en particulier, à mettre en évidence que la technologie ne doit pas être l'occasion d'introduire une nouvelle discipline abstraite dans les cours des études, mais au contraire de développer chez les enfants le sens du concret et du raisonnement par intuition. Il convient aussi de donner aux élèves le goût de l'expérimentation et de satisfaire leur curiosité vis-à-vis du monde scientifique et technique qui les entoure et qu'ils découvrent à cet âge.”*

2.4. Réflexion sur les principes de conception

problème
d'authenticité...

L. Géminard réaffirme alors les principes d'un tel enseignement de raisonnement et d'action, exigeant à la fois une démarche intellectuelle originale permettant de comprendre un objet et son fonctionnement ainsi qu'une familiarisation avec les objets usuels observés d'une façon plus approfondie en classe. J. Chabal et R. de Preester sont associés à la commission. En 1972, ils proposent deux modules qui souhaitent, dans l'esprit du travail de la commission, favoriser des actions réelles de fabrication et être une autre solution que “la targette”. Sont ainsi proposés un module sur le moteur deux temps (type Solex) et un module intitulé *“Méthodes de fabrication mécanique”*. Ce dernier est imaginé à partir d'un changeur de monnaie suggéré par R. Ducl. Parmi les principes de conception de cette “proposition pour l'enseignement” figure notamment l'authenticité des aspects techniques abordés sans toutefois se confondre avec une formation professionnelle. Au cours de l'expérimentation conduite, la complexité de fonctionnement et de réalisation s'avère inconciliable avec les horaires impartis aux élèves de collège (18). La réduction des contraintes aboutit à la proposition d'un objet plus compatible : un petit compresseur qui introduit aussi une ligne de produits en accord avec les automatismes (vérins, distributeurs) qui doit beaucoup à un expérimentateur de terrain, M. Pezet. C'est à partir de cette expérimentation dans les classes que le module *“techniques de fabrication mécanique”* est mis au point. Le problème de l'authenticité sera alors conceptualisé par J.-L. Martinand, en termes de *“référence”* et de *“pratiques sociales de référence”* (19). À ces innovations, s'associe le module *“électronique”*

(18) Remarque : il sera cependant conservé dans le cadre d'opérations expérimentales de recyclage des maîtres à l'enseignement de la technologie.

(19) MARTINAND, J.-L. (1982). *Contribution à la caractérisation des objectifs de l'initiation aux sciences et techniques*. Thèse pour le Doctorat ès Sciences. Université Paris XI. Centre d'Orsay.

(responsable P. Martinot-Lagarde) pour lequel A. Durey apporte sa contribution (20).

2.5. Une analyse techno-logique

...et questions
d'apprentissage
dans
l'enseignement
formel...

La recherche sur "*L'enseignement du Montage-Démontage dans la formation professionnelle des ouvriers qualifiés du secteur mécanique*" propose dès 1979 la mise en évidence d'une logique à la fois systématique et fonctionnelle des relations entre les organes ou les sous-ensembles. La notion de "pièce-souche" correspond à la mise en évidence du référentiel implicitement pris en compte par l'enseignant mais non identifié par l'élève (21). Cette notion est construite à partir de l'analyse techno-logique des relations des pièces entre elles dans un ensemble. Elle suggère une transformation du contenu enseigné afin d'explicitier le référentiel qui constitue l'apprentissage essentiel.

2.6. Fabrication-production

...et non formel

En 1980, le projet "*La Vilette*" suscite des travaux pour l'enseignement non formel. Pour G. Delacote, la conception d'un musée dans lequel l'industrie est représentée impose de proposer aux visiteurs des situations de fabrication-production (22). C'est l'objet de la recherche engagée par G. Cruz et R. de Preester (1991) (23) qui mettront au point une fabrication assistée par vidéodisque interactif.

3. LA DIDACTIQUE DE LA TECHNOLOGIE EN TANT QUE DISCIPLINE DE RECHERCHE

3.1. Vers la didactique des enseignements technologiques

La consultation des travaux publiés révèle l'organisation progressive de recherches sur et pour l'enseignement de la technologie. La recherche didactique naissante dans les années 1960 est guidée par quelques enseignants militants, innovateurs et engagés dans le développement de l'enseignement technologique. Peuvent être distingués trois moments essentiels :

-
- (20) DUREY, A. (1981). *Expérimentation d'un module d'électronique dans des classes de 4e de l'enseignement du second degré : contribution à l'évaluation des actions de formation des maîtres*. Thèse de l'université Paris V.
 - (21) CHABAL, J. ; BONNET, M. ; DANIEL, F. ; DESROCHE. (1985). *Montage-Démontage Étude technologique suggestions pédagogiques* (1er tirage à usage interne chap. 0 à 5 -1979-1980). Paris : INRP, coll. Études et recherches sur les enseignements technologiques.
 - (22) Voir rapport "Du matériau aux objets" d'un groupe de réflexion animé par L. Géminard et J. Chabal.
 - (23) CRUZ, G. (1991). *PROSIM. Initiation à la programmation et simulation de tour à commande numérique*. Paris : INRP (2 vol.).

des recherches
sur et pour
l'enseignement

- la recherche à l'ENNA de Paris qui fixe le contenu des nouveaux enseignements technologiques,
- la période de la commission Lagarrigue qui invente un enseignement et qui conduit à l'enseignement de la physique au collège (J.-L. Martinand, 1996) (24),
- l'affichage de la didactique des disciplines technologiques à l'ENS de Cachan.

Les travaux de la commission Lagarrigue contribuent à l'organisation de la recherche en didactique des disciplines technologiques avec la création du laboratoire de G. Delacote. Au LIRESPT, puis au LIREST, J.-L. Martinand structure les fondements théoriques de la didactique des disciplines technologiques en tant que discipline de recherche, en particulier en proposant le concept de "pratique sociale de référence" pour examiner les contenus techniques dans leurs caractéristiques. Parallèlement J. Chabal organise la direction de programme "Études et recherches sur les enseignements techniques" à l'INRP, fondée dès le début des années 1970 et sous la responsabilité de Y. Deforge.

La naissance du séminaire spécialisé "Didactique des disciplines technologiques", en 1990 à l'ENS Cachan, peut être considérée comme l'installation de ce champ de la recherche et le début de sa structuration scientifique, en raison de sa reconnaissance et de son financement par la Direction de la Recherche et des Études Doctorales (25). Elle s'intéresse prioritairement aux processus d'enseignement-apprentissage dans les disciplines technologiques ainsi qu'aux disciplines technologiques elles-mêmes. Publié en 1996, le numéro de la revue *Aster* consacré à l'enseignement de la technologie (26) précise le champ de la recherche, indique l'unité et la diversité de la technologie et révèle les questionnements dans les registres épistémologique, pédagogique et psychologique.

3.2. Un questionnement spécifique

Toutefois, tous les travaux relatifs aux enseignements technologiques ne relèvent pas d'un questionnement didactique, même si leurs objets sont liés aux contenus enseignés et aux objets de la technique. À titre d'exemple, les graphismes techniques qui par essence correspondent à une des caractéristiques du savoir technique ont été examinés du point de

(24) MARTINAND, J.-L. (1996). "Un moment du développement de l'enseignement scientifique et technologique : les débats de la Commission Lagarrigue sur la technologie". In B. Behloste & al. *Les sciences au lycée. Un siècle de réformes des mathématiques et de la physique en France et à l'étranger* (pp. 219-227). Paris : Vuibert-INRP.

(25) Cf. MÉHEUT, M. (1991). "Avant-propos". *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques. 1990-1991*. Paris : Association Tour 123. P. 3.

Voir aussi : MARTINAND, J.-L. & DAVY, P. (1991). "Didactique des disciplines technologiques". *Recherches en éducation pilotées par la DRED* (6). Doc. ronéotypé, 35-42.

(26) DUREY, A. & VÉRILLON, P. (coord.) (1996). *Aster, 23, Enseignement de la technologie*. Paris : INRP.

vue de la psychologie cognitive (P. Rabardel, 1980) (27). Bien que ces résultats intéressent l'enseignement et l'apprentissage, le point de vue porté sur cet objet contribue plus à connaître les processus cognitifs qu'à comprendre et influencer les processus d'enseignement-apprentissage. En effet, la non prise en compte des pratiques réelles du dessin technique et de son évolution rapide (schémas, informations) marque la différence entre l'orientation psychopédagogique et l'orientation didactique des recherches (28). Autre point de vue, également présent dans les travaux anglo-saxons sur le "modelling" (29) par exemple. L'orientation didactique se distingue aussi des travaux sociologiques ou psycho-sociologiques qui se sont intéressés à l'éducation technologique, en particulier dans les années 1980 (30).

une
préoccupation
d'intervention
sur les contenus

Au cours de cette histoire, les travaux de didactique des enseignements technologiques se caractérisent par leurs enjeux d'élaboration de contenus d'enseignement ainsi que d'essais et d'expérimentation de sous-ensembles de curriculums. La préoccupation d'intervention sur les contenus et sa problématisation apparaissent comme les caractéristiques fondamentales et fondatrices de cette discipline de recherche.

Joël LEBEAUME
LIREST-GDSTC ENS Cachan
Université d'Orléans
IUFM Orléans-Tours

-
- (27) RABARDEL, P. (1980). *Contribution à l'étude de la lecture du dessin technique*. Thèse de 3^e cycle. Paris, EHESS.
- (28) Remarque : la désignation actuelle de l'unité "Processus cognitifs et didactique des enseignements technologiques" intégrée au département de "Didactiques des disciplines" de l'INRP conserve la marque de l'histoire des recherches sur et pour l'enseignement technique, pensées à la fois en terme de psychologie appliquée et de questionnement des contenus.
- (29) ANNING, A. (1997). "Drawing out ideas : graphicacy and young children". *International Journal of Technology and Design Education*, vol. 7, 3, 241-258.
- (30) Les travaux les plus marquants sont :
FIGEAT, M. (1981). *Travaux Manuels Éducatifs, Technologie, EMT et orientation . Analyse du contexte historique 1948-1980*. Paris : INRP-DP3.
RAMBOUR, S. (1982). *Formation et pratique des professeurs d'EMT en collège*. Thèse de doctorat de 3^e cycle, Université Paris V (sous la direction de V. Isambert-Jamati).
ISAMBERT-JAMATI, V. (1984). *Culture technique et critique sociale à l'école élémentaire*. Paris : PUF.
RAYMOND, J. & VIGNAUD J.-M. (1986). *Activités manuelles et physico-technologiques dans le premier degré*. Paris : INRP, Collection Rapport de recherche, n° 10, 2 tomes.
ABRIGHI, A., FABRE, M., SBAI, R. & JOUVENET, J.-P. (1985). *Les causes de résistance à l'introduction des activités à dominante manuelle et technologique à l'école et au collège, enquête 1982-84*. Rapport de recherche. Paris : INRP et Lyon : LPDE.
TANGUY, L. (1991). *L'enseignement professionnel en France. Des ouvriers aux techniciens*. Paris : PUF, Coll. Pédagogie d'aujourd'hui.
AGULHON, C. (1994). *L'enseignement professionnel. Quel avenir pour les jeunes ?* Paris : Les éditions de l'atelier/Éditions ouvrières.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CHABAL, J. (1985). *Propos sur technologie et éducation, recueil de textes*. Paris : INRP. 80 p.

MARTINAND, J.-L. (1996). "D'où est venue la didactique ?". *Éducatives*, 7, 22-25.

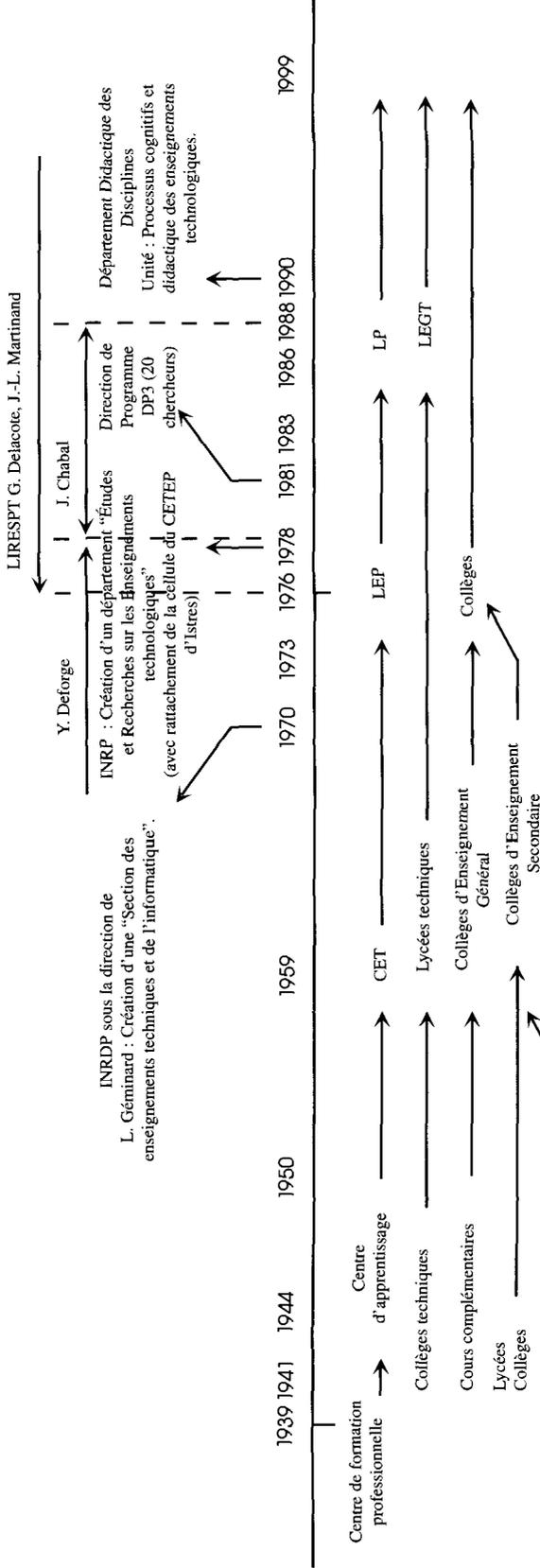
OUVRIER-BONNAZ, R. (1998). "Technologie et orientation". *AEET*. 10 p.

PELPEL, P. & TROGER, V. (1993). *Histoire de l'enseignement technique*. Paris : Hachette.

VÉRILLON, P. (1993). "Repères historiques". In C., Desvé, (dir.). *Guide bibliographique des didactiques - Des ressources pour les enseignants et les formateurs* (pp. 271-279). Paris : INRP.

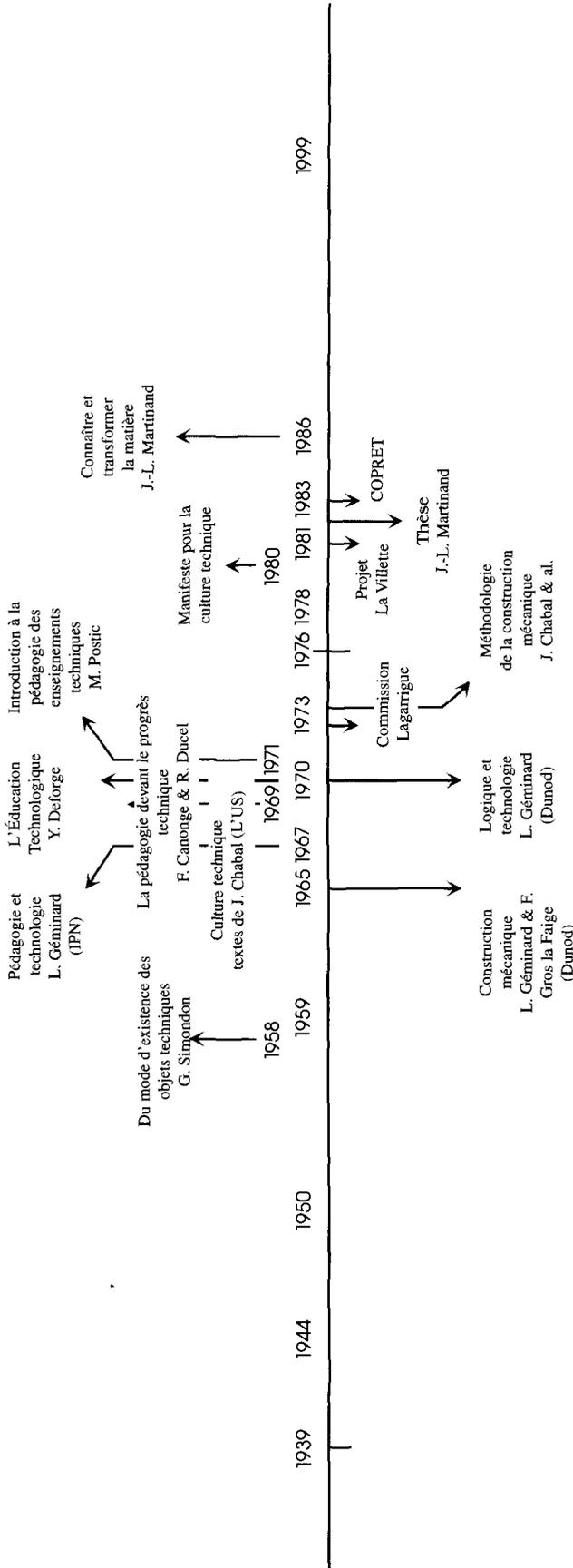
ANNEXE

1. ÉVOLUTION DES STRUCTURES DU SYSTÈME ÉDUCATIF ET ORGANISATION DE LA RECHERCHE



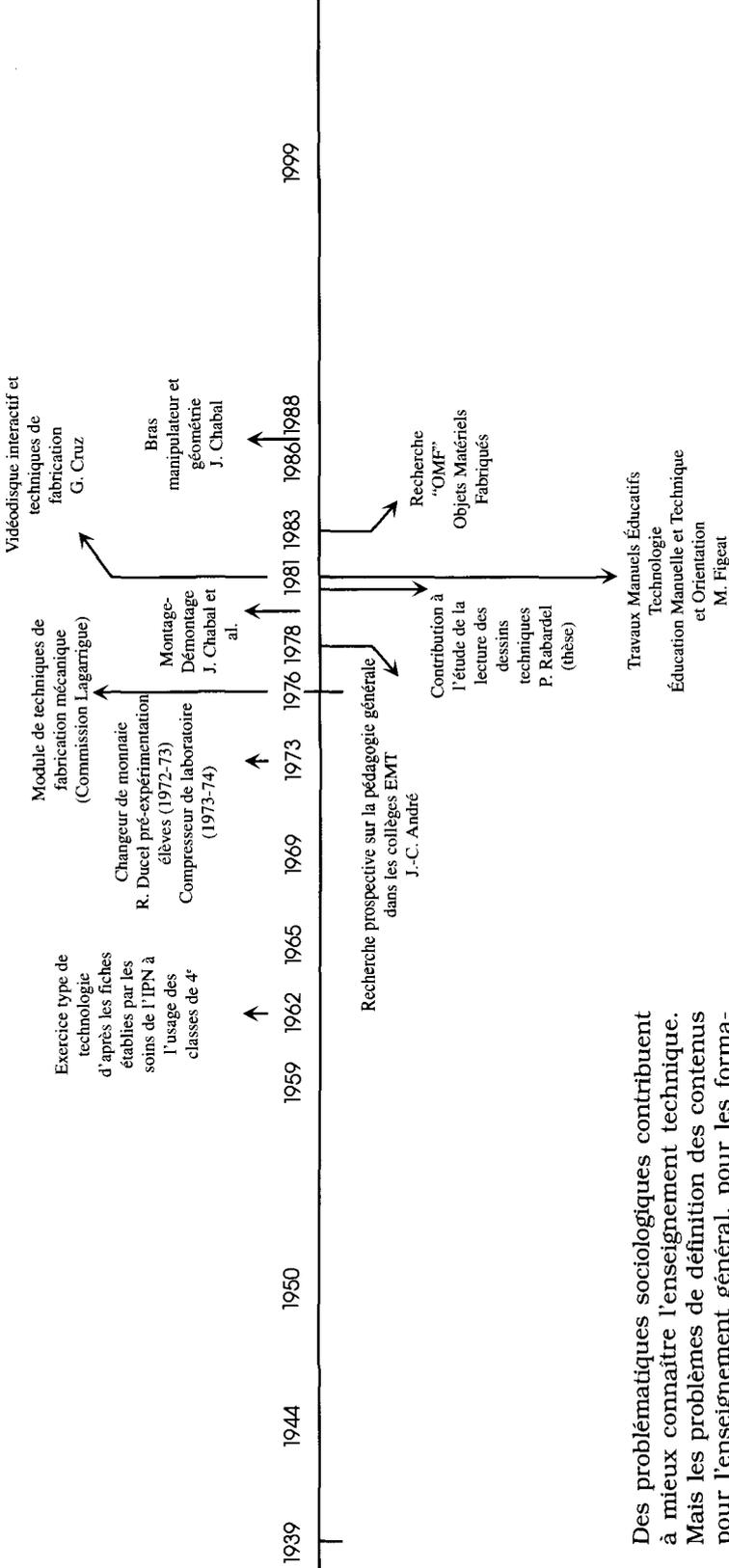
Les travaux et recherches en didactiques des disciplines technologiques accompagnent le mouvement d'organisation de l'École en Système Éducatif à partir de 1959 avec la progressive intégration de l'enseignement technique. Parallèlement, la didactique des disciplines technologiques s'organise à l'INRP et au LIRESPPT.

2. TENDANCES ET MOUVEMENTS D'IDÉES



Dès le début des années 1960, les débats autour des humanités modernes et la "culture technique" signalent le changement du projet culturel de l'École. De nombreux travaux et réflexions sont menés sur et pour l'enseignement. La commission Lagarrigue puis la COPRET permettent progressivement de définir les enseignements pour l'école moyenne.

3. PRINCIPALES THÉMATIQUES DE RECHERCHE



Des problématiques sociologiques contribuent à mieux connaître l'enseignement technique. Mais les problèmes de définition des contenus pour l'enseignement général, pour les formations professionnelles et pour l'enseignement non-formel, fondent la didactique des enseignements technologiques.

DIDACTICIENS ET DIDACTIQUES DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LA MATIÈRE, QUELQUES OBSERVATIONS

Jean-Louis Martinand

Ce texte contribue à rectifier l'idée préconçue selon laquelle la didactique de la physique aurait joué un rôle précurseur et moteur dans la didactique des sciences et techniques de la matière. Le renouvellement des contenus et des méthodes de l'enseignement de la chimie est ancien et permanent. La technologie est une discipline de collège de plus en plus nettement identifiée. Et en physique, des travaux d'innovation à l'école élémentaire et au collège ont joué un rôle important.

Les didactiques des sciences et techniques de la matière sont souvent abordées comme si la physique et sa didactique y jouaient le rôle principal et précurseur. Le but de ce texte est de corriger cette idée préconçue, au moins pour la France.

1. RETOUCHES POUR UN TABLEAU PLUS BIGARRÉ

Les didactiques des disciplines présentent des caractéristiques qui doivent beaucoup aux spécificités des disciplines elles-mêmes, mais aussi aux expériences et préoccupations des didacticiens : on peut l'illustrer avec trois disciplines relevant des sciences et techniques de la matière : la chimie, les sciences physiques et la technologie. Elles montrent en effet des différences importantes.

1.1. Chimie

Alors que les contenus de la physique au lycée étaient finalement restés très stables dans leur structure profonde de 1903 à 1979, la chimie avait beaucoup évolué depuis la dernière guerre, passant d'une science descriptive et classificatoire à une science des structures et des modèles en passant par une concentration sur quelques fonctions. D'autre part il faut noter que près du quart des chimistes universitaires ont pu être impliqués dans un réseau comme Recodic (1);

la chimie
n'est plus
descriptive

(1) Recherches coopératives en didactique de la chimie

cependant, pour l'enseignement secondaire, la chimie n'a pas bénéficié comme la physique de l'appui des IREM, très intéressés par les "relations mathématiques-physique".

Des journées sur l'enseignement de la chimie se tiennent régulièrement et les Olympiades ont apporté des innovations importantes. Et l'activité de renouvellement de l'enseignement de la chimie est permanente.

science et
industrie sont liés

Pourtant, il n'est pas sûr que la recherche didactique ait vraiment "décollé" : peu d'"épistémologie appliquée", alors que le double caractère de science et d'industrie (ou de "technoscience") de la chimie appellerait des réflexions approfondies beaucoup plus nombreuses ; et une tendance, qu'on retrouve dans beaucoup d'autres pays, à concevoir la recherche sur l'enseignement de la chimie comme une coopération d'expertise chimique et de sciences de l'éducation, qui fait l'impasse sur des problématiques spécifiquement didactiques.

On peut remarquer que des domaines de "physique appliquée", comme l'EEA (électronique-électrotechnique-automatique), présentent aussi les mêmes caractéristiques.

1.2. Sciences physiques

introduction
de la physique
en collège

Dans les années soixante-dix, des travaux d'"innovation pilotée" à l'école élémentaire et au collège ont joué un rôle important pour le remplacement des leçons de choses à l'école primaire et l'introduction des sciences physiques au collège. Du point de vue théorique, c'est dans ce contexte qu'ont été étudiées et précisées les conditions d'une démarche d'investigation empirique, sans mathématisation et sans hypothèse – mais non sans suppositions de la part des enfants –, mettant en œuvre une logique élémentaire (identification, séparation et exclusion de variables) et des mesurages de grandeurs primaires. L'élucidation des convergences et des divergences avec l'investigation du vivant au même niveau a été un moment nécessaire pour la constitution du champ disciplinaire sciences et technologie.

En même temps, quelques concepts "premiers" ont été mis à l'épreuve des apprentissages, comme celui maintenant bien connu de "circuits d'objets" comme condition nécessaire de fonctionnement de montages électriques simples. Des essais d'appropriation de modèles ont aussi été conduits.

évaluation des
innovations

On peut dire que de ces travaux sont issus à la fois les programmes successifs d'initiation scientifique, et des groupes de recherche, là où la double préoccupation d'invention et d'évaluation a été respectée.

1.3. Technologie

Il s'agit aujourd'hui d'une discipline de collège beaucoup plus nettement identifiée qu'il y a une génération. Mais c'est

les "missions"
spécifiques
de la
technologie

une discipline qui peut paraître échapper à l'analyse si on veut la penser comme une science. En effet, les missions de la technologie sont spécifiques :

- venir en appui des processus d'orientation scolaire et professionnelle dans le "système scolaire" où tout jeune reste jusqu'à près de 19 ans ;
- permettre une approche concrète et représentative du monde technique dans lequel nous vivons ;
- conduire à une maîtrise minimale des usages communs de l'ordinateur à l'école et hors de l'école, et construire une connaissance technologique du traitement et de la communication de l'information ;
- compenser les tendances intellectualistes de nombreuses disciplines scolaires, et même tenter de remédier à certains échecs que ces tendances engendrent.

Les variations de l'éducation technologique pour tous au collège ont été très rapides.

le dessin
technique,
langage
universel

- Dans les années soixante, elle a été conçue comme centrée sur le dessin technique, "langage universel" de la technique.
- Dans les années soixante-dix, en même temps que l'apprentissage du dessin régressait au profit de l'analyse technique dans l'enseignement technique, l'idée du caractère éducatif de réalisations complexes sur "projet contractuel" a commencé à émerger. C'est cette idée que reprendra en 85 la technologie qui remplace à ce moment l'éducation manuelle et technique (alors que la première technologie a finalement donné les sciences physiques).

une élaboration
théorique

Ces changements ont été induits et accompagnés par des recherches pour explorer et penser les "possibles" des activités techniques scolaires. Deux dates importantes dans ce domaine : la création de l'Association européenne pour l'éducation technologique à Wuppertal en 1987 et de début du séminaire de didactique des disciplines technologiques à Cachan en 1989.

1.4. Sciences et techniques

Sur l'ensemble du champ des sciences et techniques de la matière et du vivant, il me paraît important de souligner l'importance :

- des Journées de Chamonix depuis 1979, associant chercheurs, formateurs et praticiens, seule manifestation francophone annuelle et pluridisciplinaire ;
- de la Déclaration du Conseil National des Programmes de 1991 sur l'"enseignement des sciences expérimentales", concernant tous les niveaux et toutes les disciplines de la matière et du vivant, et qui peut aussi être lue comme un texte théorique sur ces disciplines et leurs didactiques.

2. ÉMERGENCES ET INTERROGATIONS

Au-delà de la diversité des cheminements et de la variété des résultats, peut-être est-il possible et souhaitable de dégager quelques idées.

2.1. De la réflexion ou de l'innovation à la recherche

Il y a recherche si des exigences d'objectivité et de rationalité sont satisfaites, donc si un minimum de distance épistémologique, d'élaboration conceptuelle, d'instrumentation investigatrice et de rigueur méthodologique est effectivement mis en œuvre. Si l'enracinement dans la formation et l'innovation, si la maîtrise de la discipline d'enseignement et la réflexion sur celle-ci sont nécessaires, elles sont loin de suffire à des recherches, et n'offrent même pas de garanties de pertinence. De cela tous les didacticiens ont eu à se convaincre et à convaincre, face aux didactiques de praticiens ou de prescripteurs. L'évaluation de projets, la validation des descriptions de comportements, la professionnalisation de la recherche par les DEA de didactique, les colloques et séminaires nationaux y ont grandement contribué (premiers DEA en 1974).

Au-delà, ils faut constater la très grande variété des orientations et des thématiques des chercheurs : de l'empirisme athéorique, à l'usage plus ou moins dogmatique de concepts importés, d'une posture de sciences humaines appliquées à une posture de sciences et techniques de la matière impliquées, etc.

2.2. Didactiques et disciplines

C'est sans doute avec l'UER de didactique des disciplines scientifiques, puis de didactique des disciplines de l'université Paris 7 que la notion de didactique des disciplines est devenue publique et problématique en même temps. D'une part, il y a le plus souvent juxtaposition avec ignorance réciproque des multiples didactiques de discipline, voire de fragments de discipline. D'autre part, il y a parfois des tentatives d'intégration selon des points de vue "généraux" obtenus soit par extension mal contrôlée à partir d'une didactique de discipline hégémonique, soit par application réductrice d'une problématique de science humaine particulière, sans responsabilité sur les contenus.

Les didactiques manquent de travaux critiques et comparatifs sur les disciplines elles-mêmes, qui aillent au-delà de la sociologie des disciplines : il faut s'intéresser tout particulièrement aux problèmes didactiques de disciplines à évolution rapide – par exemple l'informatique –, à la manière dont les

relier
innovation,
recherche,
évaluation

les didactiques
manquent de
travaux critiques
et comparatifs

recherches didactiques ont fait évoluer ou émerger certaines disciplines – par exemple à l'école primaire –, enfin aux éducations non disciplinaires – par exemple pour l'environnement ou la sécurité. Il ne s'agit pas de chercher ce qui est commun et qui est rapidement insignifiant (la "mauvaise abstraction") mais de construire des cadres pour penser les différences – par exemple entre physique, chimie, électronique et leurs didactiques.

2.3. La problématisation

Il n'y a de discipline de recherche que s'il y a problématisation propre. Sans doute le "point de vue privilégié des contenus" est-il propre et commun à tous les didacticiens. Encore faut-il que les spécificités soient explicitées sans superficialité. Lorsqu'on examine les qualifications de didacticiens en sciences de l'éducation – obtenues finalement avec un bon succès –, on est frappé par le fait qu'ils ont souvent bénéficié de critères fragiles : ils sont reconnus dans la petite communauté de la didactique de leur discipline et cela a suffi. Mais lorsqu'il y a examen comparatif des dossiers, les faiblesses d'élaborations théoriques, la méconnaissance de l'histoire de l'éducation, les flottements méthodologiques deviennent beaucoup plus apparents. Un approfondissement critique, une ouverture aux didactiques des autres disciplines, à l'ensemble des recherches en éducation, sont aujourd'hui des urgences pour les didactiques des sciences et techniques de la matière.

la reconnaissance
d'une petite
communauté

2.4. L'expertise

Nous avons tous en tête des schémas de discipline autoreproductrice : les physiciens forment par la physique de petits physiciens qui deviennent grands et remplacent les anciens. La didactique comme discipline de recherche n'est pas autoreproductrice : elle résulte du croisement permanent de trajectoires diverses : des scientifiques reconvertis, des praticiens qui veulent approfondir leurs pratiques, des formateurs qui souhaitent s'appuyer sur des recherches. Il n'est pas sûr de ce point de vue que le bon modèle pour la recherche didactique soit celui de recherches "fondamentales", pour accumuler des connaissances fiables, objectives et cumulatives, progressivement intégrées en modèles ou théories ; en tout cas ce n'est pas le seul modèle.

La demande sociale est finalement beaucoup plus une demande d'expertise que de recherche : la recherche n'est que le moyen, le détour pour produire et reproduire des capacités d'expertise, c'est-à-dire des capacités d'analyser, d'inventer, de problématiser. Le besoin est paradoxalement beaucoup moins de prédictivité que d'intelligibilité : besoin d'expérience d'une part, que ne peut remplacer la connaissance des résultats de recherche, et besoin d'outils concep-

les didacticiens
ont suivi
des trajectoires
variées

un besoin
d'intelligibilité

tuels d'autre part, pour poser les problèmes de manière originale. C'est sans doute en partie dans ce sens que devraient être orientées recherches collectives et thèses, en particulier dans les domaines d'enseignement en évolution rapide.

Jean-Louis MARTINAND
ENS Cachan

VINGT ANNÉES DE THÈSES EN DIDACTIQUE DE LA PHYSIQUE ET DE LA CHIMIE

Daniel Beaufiles

Depuis une vingtaine d'années, des dizaines de thèses ont contribué à l'investigation de questions spécifiques à l'enseignement de la physique et de la chimie. Nous rappelons et présentons ici différents travaux francophones que nous avons articulés en fonction de leur contribution. Un premier ensemble concerne ainsi l'explicitation des conceptions et raisonnements des élèves et étudiants. Un autre ensemble a contribué à l'étude des questions de définition des contenus enseignés. Enfin, des travaux ont été consacrés à l'enseignement en situation et à la formation des maîtres.

Cela fait un peu plus de vingt ans que des recherches spécifiques sur les questions d'enseignement et d'apprentissage des sciences ont débuté de façon significative. Vingt années d'investigation caractérisées par leur centrage sur les contenus qui, suivant les orientations, ont approfondi les questions sur les raisonnements des étudiants, sur la définition des contenus, sur les conceptions des enseignants eux-mêmes...

Ce texte vise à rappeler les différents travaux francophones ayant donné lieu à une thèse en essayant de les articuler en fonction de leur contribution. Nous aurions pu nous limiter aux thèses "récentes" mais, outre le fait que ce qualificatif ne fixe pas de limite, il nous a paru important de faire apparaître la continuité et l'évolution des problématiques, ainsi que l'étendue des domaines ainsi abordés (1). Nous avons tenté de regrouper dans une première partie les différents travaux qui ont contribué à l'explicitation des conceptions et raisonnements des élèves ou étudiants dans différents domaines de la physique et de la chimie. Une seconde partie est consacrée aux travaux dont la contribution visait plus spécifiquement la définition des contenus enseignés ou à enseigner. Enfin, une troisième partie est consacrée aux travaux portant un regard sur l'enseignement en situation et sur la formation des maîtres.

Gageure, sans doute, que de vouloir rassembler plus de soixante thèses de didactique qui, suivant les cas, sont caractérisées par leur focalisation sur une question pointue, ou présentent plusieurs facettes complémentaires allant de l'étude de cas à la proposition de séquences d'enseignement. Il est clair que notre présentation n'est pas indiscutable ; elle correspond à des choix effectués pour un module de didactique de la physique et de la chimie de DEA (2).

des travaux
nombreux
et variés

-
- (1) Cela étant, nous ne présenterons pas les travaux qui ont pu être poursuivis ultérieurement.
 - (2) DEA Enseignement et diffusion des sciences et des techniques, ENS Cachan.

1. DES TRAVAUX SUR LES CONCEPTIONS ET LES RAISONNEMENTS

Sans doute peut-on faire commencer l'histoire de la didactique à l'époque des travaux qui, dans les années soixante-dix, ont été suscités par les difficultés des étudiants de physique dans leur cursus universitaire. Ces premières investigations ont été suivies de tout un ensemble de recherches sur les conceptions et raisonnements "naturels" chez les étudiants et les élèves. Dans la présentation proposée ci-après nous avons choisi, non pas une progression historique, mais une partition entre les travaux plus centrés sur la recherche de conceptions et ceux plus centrés sur l'analyse des raisonnements en situation de résolution de problèmes classiques.

1.1. Des conceptions

En 1982, Martine Méheut (3) s'est intéressée à la notion de réaction chimique dans le cadre des nouveaux programmes de collège. Le travail visait l'étude de conceptions des élèves, avant et après enseignement, à propos du phénomène de combustion, point d'appui phénoménologique porteur d'objectifs d'acquisition de connaissances : augmentation de la masse, nécessité de l'oxygène, production d'eau, etc. La thèse a montré que ces connaissances s'opposaient aux conceptions initiales des élèves. Pour eux s'il y a variation de masse lors de la combustion, c'est dans le sens de l'allègement ; de même, s'ils admettent la présence de vapeur d'eau, c'est avec l'idée que l'eau provient de la substance... Au-delà du fait qu'il n'est guère plus de 40 % d'élèves qui finalement reconnaissent la nécessité de l'oxygène, il est intéressant de noter que la combustion, loin de constituer une phénoménologie simple pour aborder les notions de réaction chimique, s'est avérée un obstacle.

l'obstacle de la
connaissance
commune :
l'eau, l'air, le feu

Dans sa thèse de 1985, Marie-Geneviève Séré a également abordé les difficultés des élèves de collège mais dans la conception de la pression, en particulier celle exercée par l'air. Il est ainsi apparu que la notion est particulièrement difficile à faire comprendre à ce niveau. La référence à l'air s'avère ainsi illusoire puisque leur expérience journalière indique plutôt l'inexistence d'une pression ; plus précisément, l'éventuel effet de l'air est relié à la résistance au déplacement ou à la déformation, référence qui entraîne l'association de la notion de pression à celle de force. La difficulté est d'autant plus grande que viennent s'ajouter à cet âge des difficultés conceptuelles au niveau de la distinction volume/quantité de matière et chaleur/température (4).

(3) Les intitulés des thèses sont donnés dans le tableau chronologique ajouté en annexe.

(4) De nombreux travaux ont porté sur le thème chaleur/température (voir A. Tiberghien dans *Actes du 1er atelier sur les recherches en didactique de la physique*, 1983) ; voir aussi la thèse de Béatriz Macedo de Burghi, 1981.

Dans ces deux thèses, le travail comportait également une partie visant la mise au point de propositions d'enseignement, avec en particulier l'introduction d'un modèle particulière. Il est intéressant de noter ici que la "résolution" de la difficulté de conceptualisation passe par un modèle "microscopique". C'est d'ailleurs ce point de vue que, plus récemment, André Laugier (1998) a défendu dans sa thèse sur l'enseignement de la réaction chimique.

lumière et vision

L'optique est également un domaine qui a suscité différents travaux y compris au niveau du collège. Poursuivant les travaux d'Édith Guesne (1985) sur la conception de la vision comme "rayon" partant de l'œil vers l'objet, Wanda Kaminski (1991) a montré la "substantialisation" du rayon lumineux qui devient ainsi un "objet" que l'on peut voir sur le côté. Ce type de conception concerne aussi, comme l'a montré Françoise Chauvet (1994), la notion de couleur : pour la majorité des élèves (comme pour des étudiants (5) et un grand nombre d'adultes) la couleur est une propriété de l'objet. La distinction de la couleur lumière et de la couleur matière est alors particulièrement importante et demande la réalisation de nombreuses expériences (ombres colorées par exemple). On peut noter que la difficulté est clairement dans la notion elle-même qui nécessite la prise en compte des dimensions physique, physiologique et technologique.

mouvements

La mécanique a été également étudiée sous cet angle. Les premiers travaux à ce propos remontent à la thèse d'Édith Saltiel (1978) (6) sur la notion de vitesse et les questions de changement de référentiels. Là également, les raisonnements des élèves semblent reposer sur une conception de la vitesse comme propriété de l'objet et sur l'inséparabilité du mouvement d'une cause motrice. De même, le travail de Laurence Maurines (1986) à propos de la propagation des ondes transversales (7) a permis de montrer à la fois un substantialisme et une confusion avec la dynamique des objets : un grand nombre d'étudiants pensent qu'il est possible de faire aller plus vite un ébranlement en "lançant" plus fort, que la "bosse" ralentit au fur et à mesure qu'elle s'aplatit...

1.2. Des raisonnements "naturels"

Il est clair qu'il serait abusif de vouloir séparer les conceptions des raisonnements ; pourtant, un certain nombre de travaux mettent l'accent plus sur les seconds que sur les premiers. Il y a là quelque chose d'intéressant car il n'est pas évident que les raisonnements ne soient que des conceptions

(5) Voir thèses de Richard Lefèvre (1988) et de A. Fawaz (1985).

(6) Un travail de thèse a été également fait sur la dynamique de la propagation des ondes mécaniques au niveau du supérieur par Rizkallah Abboud (1989).

(7) Ces travaux ont été poursuivis à propos de la propagation des ondes sonores.

mises en pratique : il peut y avoir des formes de raisonnement générales qui transcendent les conceptions dans tel ou tel domaine (8).

Dans sa thèse de 1977, Laurence Viennot a mis en évidence au niveau des élèves de lycée et du supérieur une "adhérence entre force et vitesse" où la force est une sorte de capitalisation et, partant, l'existence d'un raisonnement causal : le mouvement a une cause et un "état" de mouvement doit être associé à un élément de la cause. La production de réponses erronées par les élèves ou les étudiants vient alors à la fois d'une conception erronée et d'un raisonnement mettant en jeu une succession linéaire de relations cause-effet inopportune. Ce type de raisonnement a été également repéré en statique par Serge Fauconnet (1981) : le raisonnement "linéaire-causal" conduit ainsi à des calculs faux sur des problèmes simples d'allongement de ressorts.

des
raisonnements
de type
"linéaire-causal"

Ce type de raisonnement a été étudié par Jean-Louis Closset (1983) à propos de problèmes en électricité du collège au lycée. Ces raisonnements "séquentiels" maintenant bien connus conduisent en effet les élèves à nier la loi de l'électrocinétique et prédire, par exemple, qu'une ampoule brillera moins si elle est après une résistance que si elle est avant (9). Il faut noter ici que ces difficultés de raisonnement se doublent de difficultés conceptuelles et expérimentales que les travaux anciens de Samuel Johsua (1982) ou récents de Jean-Loup Canal (1996) ont explicitées.

Citons enfin la thèse de Sylvie Rozier (1988) à propos de l'enseignement de thermodynamique où la difficulté des étudiants à raisonner sur trois variables est bien de même nature : le raisonnement linéaire causal entraîne l'absence de prise en compte de contre-réaction ou de l'aspect systémique et, dès lors, conduit à des associations du type "chaleur d'où élévation de température, d'où élévation de pression, d'où augmentation du volume" pour expliquer la dilatation due à l'échauffement d'un gaz... à pression constante...

1.3. Des difficultés causées par l'enseignement lui-même

Les exemples ci-dessus conduisent en fait à pointer sur l'enseignement des contenus lui-même. Il n'est en effet pas impossible que la seule considération de situations stationnaires ou d'équilibre n'aille pas à l'encontre d'une intuition relative aux (nécessaires) régimes transitoires qu'il s'agisse de l'électrocinétique, de la mécanique ou de la thermodynamique. Nous voyons de la même façon les difficultés de l'enseignement de mécanique étudiées par Hélène Caldas (1994) à propos du frottement solide : la fusion des notions

(8) Voir L. Viennot, 1986.

(9) Des travaux antérieurs relatifs à la conception du courant et de sa circulation ont également contribué à ces connaissances didactiques : voir G. Delacotte, A. Tiberghien (1983) et thèse de Jalila Ben Hamida (1980).

l'enseignement
source
d'obstacles

d'adhérence et de frottements en un concept unique de frottement décliné en statique et dynamique ne facilite pas la maîtrise des raisonnements mettant en jeu des "forces de frottement motrices". À un niveau supérieur, la difficulté des étudiants avec la loi de Coulomb pour le champ électrique au voisinage d'un conducteur, étudiée par Sylvie Rainson (1995), n'est pas étrangère à l'enseignement préalable du principe de superposition. De même encore, l'enseignement de l'électrostatique apparaît-il comme un obstacle à l'enseignement de l'électrocinétique comme l'a étudié Abdelmadjid Benseghir (1989) au niveau des lycées et des premières années post-baccalauréat.

Cet effet "à contresens" de l'enseignement a déjà été évoqué à propos de la thèse de Martine Méheut et apparaît comme flagrant dans le travail d'Hélène Stavridou (1990) à propos de l'enseignement de la réaction chimique et l'évolution des conceptions des élèves du collège au lycée. En effet, outre la différenciation avec le changement d'état ou la dissolution rendue difficile par l'illustration de réactions chimiques bien visibles (donc "caractérisées" par un changement physique tel que la couleur, ou la précipitation), les élèves finissent par associer la réaction chimique et le schéma "deux corps donnent autre chose". Autant d'obstacles à l'étude de réactions à un ou trois corps, aux notions d'équilibre, etc. (10)

Le travail de W. Kaminski cité ci-dessus fournit peut-être l'exemple le plus frappant. En effet la conception du rayon lumineux chez les élèves après enseignement peut être grave de conséquences. Le centrage sur les constructions géométriques pour la formation des images peut entraîner l'occultation de la phénoménologie par la représentation du modèle qui, mal maîtrisé, conduit à l'obtention d'une image redressée lorsqu'on enlève la lentille... On le retrouve également en électrocinétique au niveau de la loi des mailles en alternatif où la prégnance des valeurs efficaces fait oublier l'importance du déphasage en présence d'éléments simples, tel le condensateur, comme l'a montré Jean Lascours (1998).

1.4. En résumé

Les différents travaux évoqués précédemment sont fondés sur des approches empiriques où questionnaires papier-crayon et transcription d'observations sont les instruments privilégiés d'investigation. Ils ont contribué au listage et à la localisation des écueils rencontrés par l'enseignement à différents niveaux. Ces éléments sont essentiels pour les enseignants, les formateurs et les acteurs du système éducatif. Les différentes recherches ont ainsi conduit à des propositions de contenu ou de démarches pédagogiques, mettant l'accent, d'une part sur le concept de modèle en tant que

(10) Dans le même ordre d'idée, A. Laugier (1998) a montré que l'introduction de l'équation-bilan réduite était ensuite source de difficultés dans la résolution de problèmes quantitatifs de chimie.

construction de l'esprit et sur l'activité même d'élaboration de modèle — la modélisation — et, d'autre part sur l'identification du registre des représentations graphiques et des codages sur lesquels les élèves travaillent et qu'ils ne doivent pas confondre avec la réalité. Au-delà de cet aspect descriptif, ces recherches ont été à la base de nombreux travaux qui ont montré la résistance de "conceptions privées" à l'enseignement et peuvent nourrir un courant de recherche sur les obstacles à l'apprentissage.

La plupart des travaux ont aussi conduit ou porté sur des propositions pédagogiques expérimentées dans des classes et les nouveaux programmes ont bénéficié de ces apports. Pourtant, le passage d'innovations didactiques à la réalité de l'enseignement n'est pas simple. La récente thèse de Colette Hirn (1998) a montré que la prise en compte des nouvelles instructions n'entraînait pas automatiquement la disparition des anciennes stratégies et pouvait conduire à des contenus enseignés "cumulant" nouvelle et ancienne approches (11).

2. DES QUESTIONS DE TRANSPOSITION

La question des programmes vient d'être évoquée au niveau de la définition de telle ou telle partie des contenus et sur la rédaction de commentaires explicitant les objectifs ou raisons didactiques de tel ou tel choix. Au-delà de l'étude des évolutions curriculaires, c'est bien la question des procédures de choix et de leur explicitation qui se pose. L'analyse de l'élaboration des savoirs à enseigner et enseignés, par les didacticiens des mathématiques, a conduit au concept de transposition didactique; mais la question pour les disciplines expérimentales n'est pas aussi simple, du fait qu'elles ne peuvent se réduire à un texte du savoir et que la connaissance est multiforme autour d'un même phénomène ou d'un même objet (12). La référence à des pratiques scientifiques socialement identifiées est une des possibilités.

2.1. De la référence

L'idée d'analyser les apprentissages en référence à l'activité du chercheur est une idée ancienne que l'on rencontre dans la "pédagogie de la redécouverte". Samuel Johsua (1985) s'est penché sur les pratiques des enseignants dans la classe (collège et lycée) et sur la place qu'ils accordent à l'expérience. Il a mis ainsi en évidence le choix d'expériences prototypiques et le rôle essentiel de "monstration" : l'expérience est choisie pour montrer et elle doit conduire à l'accord des

(11) Ceci étant d'ailleurs directement lié à l'usage maintenu de dispositifs expérimentaux...

(12) La place des objets techniques (y compris ceux utilisés dans l'enseignement de physique général) est exemplaire : leur modélisation dépend fortement de leur domaine d'application et du registre théorique que l'on utilise.

place et rôles
de l'expérience
de classe

élèves sur le phénomène. La démarche est alors celle d'un inductivisme implicitement fondé sur le système naturaliste de Lazerges : l'image de la démarche scientifique étant inductive, la progression pédagogique par induction serait alors parfaitement adaptée. Le recouvrement des démarches scientifique et pédagogique place alors en parallèle l'élève et le chercheur. Mais la confusion des genres n'est pas raison, et la démarche "naturelle" n'est qu'un mythe.

L'évolution de l'enseignement de telle ou telle notion, et en particulier la place de certaines expériences prototypiques dans les classes de science a été étudiée par Samuel Johsua à propos des circuits électriques (13) et très récemment par Karine Robinault (1997) à propos de l'énergie. L'étude de l'évolution des programmes et des indications relatives à certaines parties montre bien les différents paramètres que sont "l'idéologie" du moment, le sentiment d'obsolescence de certaines connaissances et l'évolution des matériels "didactiques" eux-mêmes. Au niveau des expériences de classe, c'est un constant mouvement de simplification visant à les rendre plus visibles plus intelligibles, bref à les ajuster à leur rôle de monstration. Certaines expériences particulièrement "adaptées" survivent ainsi à l'évolution des programmes : l'étude de la loi de Joule et bien évidemment l'étude de la chute libre. Le caractère pérenne de ces expériences et, à l'inverse, la disparition rapide d'autres situations expérimentales renvoient aussi au concept de niche écologique de la didactique des mathématiques.

des pratiques
de référence

Les éléments ci-dessus rappellent la nécessité d'outils pour opérer les choix curriculaires et les justifier. La référence à une démarche scientifique "idéalisée" n'est ni la bonne solution, ni la seule. La finalité de l'enseignement doit indiquer les pratiques que l'on peut prendre en référence. Dans sa thèse sur l'initiation aux sciences et techniques, Jean-Louis Martinand (1982) s'est appuyé sur trois études de cas pour aborder les questions du choix des activités, de l'élaboration d'un contenu conceptuel et de la relation entre objectif et démarche pédagogique. Son apport théorique a ainsi porté sur l'identification des objectifs-obstacles, la définition du "champ empirique de référence" dans les activités de modélisation et sur le concept de "pratique sociale de référence" qui nous intéresse ici. Les choix des contenus enseignés doivent être faits, non pas en simple écho à un savoir abstrait, mais en explicitant les finalités et en précisant les pratiques visées *in fine*. Celles-ci peuvent être scientifiques, technologiques, mais aussi celles d'une activité sociale d'usage de la science ou des procédés.

La thèse de Bernard Calmettes (1996) sur l'enseignement de l'électrocinétique en section technique montre en particulier la construction de la discipline scolaire et la transposition d'objets matériels (moteur asynchrone et banc d'essais)

(13) Voir aussi la thèse récente de Jean Lascours, précédemment citée.

dans l'évolution rapide des programmes dans leur interaction avec le génie électrique et la physique appliquée.

L'étude de la relation entre les savoirs scolaires et certaines pratiques extérieures à l'éducation a été faite à propos d'un cas d'espèce : celui de l'introduction de l'ordinateur "outil de laboratoire" dans l'enseignement des sciences physiques au lycée. Le premier travail dans ce domaine fut la thèse d'Alain Durey (1987) qui a montré, d'une part, la cohérence des contenus notionnels enseignés au lycée et début de l'université avec les études des mouvements dans les activités sportives telles que le tennis et, "réciproquement", la possibilité de proposer des activités de modélisation à partir de résultats expérimentaux grâce à l'ordinateur. Pour autant, les raisons d'une telle introduction de l'ordinateur dans les salles de travaux pratiques des lycées restaient à l'époque d'ordre "politique" et la question de la légitimation était particulièrement ouverte pour ce qui concerne l'enseignement général, pour lequel aucune finalité professionnelle n'imposait de pratiques de référence. Plusieurs thèses ont ainsi porté sur l'étude de transpositions possibles.

2.2. De la transposition

S'appuyant sur le travail d'A. Durey, Daniel Beaufils (1991) a recherché les conditions d'une définition de contenu au niveau des classes de physique-chimie des lycées d'enseignement général. Le travail a montré la réelle difficulté dans une situation contrainte : les contenus très classiques des programmes ont en effet conduit à prendre en référence, d'une part, un "modèle épistémologique" du physicien pour les démarches d'investigation scientifique et, d'autre part, la "modélisation expérimentale" (14) pour le choix des méthodes et instruments informatisés. D'une mise en cohérence des instruments et des activités centrées sur la modélisation, il est ressorti la nécessité d'un enseignement des méthodes. À la même époque, Jean Winther (1992) a effectué un travail similaire au niveau de l'enseignement de classes techniques. La référence à une pratique de modélisation mathématique était plus directe et le travail a porté sur les différentes activités rendues possibles par les méthodes informatisées, en particulier la modélisation par ajustement de modèles à des données expérimentales.

Dans les deux cas toutefois, les contraintes de l'enseignement secondaire ont imposé une limite. La référence à des activités scientifiques ne peut en effet se réduire au transfert d'outils et à la transposition d'activités de prise de mesures et d'ajustement mathématique. La dimension sociale peut être considérée comme tout aussi essentielle : le chercheur est l'auteur de la question qu'il va chercher à résoudre, puis celui qui doit confronter ses résultats à l'avis de ses pairs. Alain Guillon (1996) a travaillé dans le sens d'un tel appro-

un ensemble
activités-
instruments-
méthodes-
démarche

(14) Voir *Recherche de modèles expérimentaux assistée par ordinateur*, J.-C. Trigeassou, Tec & Doc, 1988.

fondissement de la transposition : dans le cadre d'un enseignement universitaire, il a élaboré des situations de travaux pratiques et des projets mettant en jeu les différentes démarches scientifiques jusque dans leur dimension sociale. Ses essais l'ont aussi amené à dire la nécessité d'une formation des étudiants, non seulement aux méthodes utilisées, mais au niveau de "métaconnaissances" permettant une prise de conscience des démarches elles-mêmes.

2.3. En résumé

L'étude de l'évolution des programmes et de leur mise en place de fait par les enseignants dans leurs classes, est sans aucun doute une nécessité. Le peu de connaissances sur ces questions conduit à l'impossibilité actuelle de prévision et de contrôle dans la diffusion des innovations, fussent-elles fondées sur des études didactiques conséquentes. Au niveau de la noosphère, la didactique doit pouvoir aussi donner les moyens d'une analyse de pertinence des propositions en regard des finalités de l'enseignement à tel ou tel niveau. Les études centrées sur la transposition, y compris en référence à des pratiques sociales identifiées, sont donc nécessaires, ne serait-ce que pour expliciter les procédures et les invariants et mesurer les écarts qui la caractérisent (15). La didactique doit donc ainsi intervenir en phase avec le développement d'innovations, et les exemples précédents montrent que la didactique se trouve interpellée en retour, d'une part, par la mise à l'épreuve des modèles de transposition et, d'autre part, par les nouvelles questions que ne manque pas de soulever telle ou telle nouveauté.

Notons que les nouveaux programmes de lycée mettent l'accent sur l'utilisation de moyens informatisés pour l'élaboration et l'étude de modèles. Mais, de nouveau, une vigilance didactique s'impose : s'il peut en effet être admis que l'enseignement scientifique inclut des activités d'investigation scientifique utilisant des moyens modernes, il faut éviter le retour du "mythe naturaliste" sous couvert d'activités renouées de modélisation. Ce dernier point n'est évidemment pas indépendant de la formation correspondante des enseignants que nous abordons ensuite.

3. DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA FORMATION DES MAÎTRES

Dans les parties précédentes nous avons évoqué les recherches sur des conceptions et les raisonnements des élèves, puis nous avons rassemblé des travaux sur les questions de transposition et de définition curriculaire. Ces deux approches, l'une centrée sur l'élève, l'autre sur la noosphère, ne considéraient ni l'enseignement et ni l'enseignant

innovation
"technologique"

(15) Voir A. Durey et J.-L. Martinand dans *La transposition à l'épreuve*, G. Arzac et al., 1994.

comme objets d'étude. C'est dans cette troisième partie que nous rassemblons les thèses ayant contribué à ce troisième regard.

Là encore, la séparation n'est évidemment pas aussi nette dans la réalité des travaux. Ainsi, les premières recherches sur la résolution de problèmes dont nous allons parler ici s'intéressaient d'abord à l'élève; mais le passage au procédural reposait sur l'hypothèse que l'activité de résolution de problèmes constituait une aide didactique qui pouvait en particulier pallier les insuffisances de l'enseignement des savoirs déclaratifs définis par les programmes. Les résultats qui en sont tirés se sont alors naturellement traduits en aides didactiques destinées aux enseignants (16). L'évolution des problématiques a ensuite accentué le centrage sur les enseignants et sur la formation de enseignants à la didactique, présentée alors comme un domaine ayant produit des résultats devant éclairer la pratique dans la classe.

3.1. De l'enseignement et des aides didactiques

Les premiers travaux que nous voulons évoquer ici font suite aux premiers résultats des recherches sur les conceptions et leur résistance à l'enseignement. Ils s'inscrivaient dans la vision constructiviste de l'apprentissage et l'idée était de placer l'élève en tant qu'acteur de la construction de ses connaissances. Qui dit acteur, dit activité, et l'une des voies était de confronter l'élève à des activités de résolution de problèmes (17) proches de l'activité de chercheur.

C'est dans cette mouvance qu'Andrée Dumas-Carré (1987) s'est intéressée aux difficultés de résolution de problèmes de mécanique classique au niveau des classes de lycée. Si nous citons ce travail ici, c'est qu'il s'est explicitement centré sur la difficulté des élèves face à des problèmes typiques de l'enseignement : identification des interactions, bilan de forces dans des situations d'équilibre, études de différents mouvements de translation, etc. De plus, le travail a conduit à l'élaboration d'aides méthodologiques et à leur évaluation auprès de différentes classes. En particulier, il est apparu nécessaire d'élaborer des méthodes permettant le franchissement des différentes étapes nécessaires à une bonne résolution : bandes dessinées pour les représentations qualitatives des phases de différents mouvements, représentation des diagrammes interaction-objet comme méthode d'identification des différentes interactions, notamment. Le travail a montré l'effet positif de ces aides méthodologiques dans la réussite des élèves au niveau de la résolution de ce type de problèmes, mais aussi que ces aides devaient faire l'objet d'un enseignement. Le passage à

aides à la
résolution de
problèmes

(16) Voir par exemple A. Dumas-Carré et M. Goffard, 1997.

(17) Voir A. Dumas-Carré et M. Caillot dans G. Vergnaud et al., 1988, par exemple.

un enseignement de méthode ne pouvait alors s'envisager sans une modification des pratiques pédagogiques. C'est dans ce sens que Monique Goffard (1990) a travaillé, introduisant la notion de mode de travail pédagogique : le mode transmissif caractérisé par un contenu neutre et l'idée d'une accumulation des connaissances était en effet peu efficace, et le passage à un mode appropriatif porteur d'une pédagogie différenciée s'imposait. Le travail a porté notamment sur l'une des difficultés des programmes de physique de l'époque : la construction du concept de quantité de mouvement. Il est intéressant ici de noter le déplacement progressif du problème : de la difficulté de résolution, on est passé à la difficulté d'acquisition des méthodes, puis à la nécessité de modes pédagogiques, dont la difficile mise en œuvre nécessite à son tour une formation des enseignants à la didactique...

Une autre voie "d'application" des résultats de recherches sur les conceptions et les activités de résolution de problèmes a été choisie par Angélica Dimitracoupoulou (1995) qui a fait l'hypothèse que l'informatique répondrait aux exigences du projet. À l'époque des attentes de l'intelligence artificielle il était pertinent de s'intéresser au transfert d'expertise didactique et pédagogique dans un "tutoriel intelligent" : reprenant les travaux sur les conceptions et la résolution de problèmes pour l'enseignement de la mécanique classique au lycée, le projet s'inscrivait également dans une orientation constructiviste. Le logiciel ainsi réalisé, muni de l'expertise scientifique et didactique, pouvait non seulement repérer les manques ou erreurs, mais choisir une intervention adaptée visant d'abord la prise de conscience par l'élève de son erreur puis les aides méthodologiques mises au point par A. Dumas-Carré. On notera à ce sujet que la finalité du travail était, en fait, double : il s'agissait d'abord d'appliquer des connaissances didactiques pour élaborer un produit et, réciproquement, de mettre à l'épreuve ces connaissances en faisant l'hypothèse de leur opérationnalisation dans un système automatisé.

Une partie de ces travaux a donc été centrée sur des activités "théoriques" limitées à des problèmes "académiques", mais le choix d'activités expérimentales pour l'acquisition et la structuration des connaissances a été également abordé. Les travaux sur la quantité de mouvement s'appuyaient sur des situations expérimentales, et ceux évoqués précédemment à propos de l'introduction de l'ordinateur instrument d'investigation scientifique mettaient en première place l'obtention de mesures. Cela dit, les problématiques questionnant explicitement le rôle de l'expérimental dans l'enseignement et l'apprentissage sont récentes, et l'idée suivant laquelle les activités expérimentales favorisent la compréhension, voire la conceptualisation, mérite en effet d'être reformulée en terme d'hypothèse à valider.

On peut en particulier citer la thèse de Suzana Coelho (1993) (18) qui a montré les difficultés didactiques générées spécifiquement par le mesurage (difficile acceptation de la dispersion, idée de l'existence d'une "vraie valeur", etc.) qui viennent perturber les démarches expérimentales élaborées par l'enseignant. La thèse de Karine Robinault précédemment citée a aussi porté sur l'articulation expérimental/modèle dans les situations de travaux pratiques. Le travail a montré l'importance de distinguer différents registres entre la réalité expérimentale et la théorie : dans le "monde des choses" le registre des mesures a une place particulière, et dans le "monde des théories et des modèles", c'est le "modèle numérique" qui s'impose. L'articulation attendue par l'enseignant entre manipulation/mesures et modèle/concept est parfois loin de l'élève : ceux-ci n'établissent pas "naturellement" ou "spontanément" de relation entre les différents niveaux; le passage au registre plus abstrait des modèles et concepts ne peut avoir lieu que sur une consigne explicite dans ce sens.

place et rôles
des travaux
pratiques

Dans le même ordre d'idée, la thèse récente de Michel Beney (1998) montre la difficulté des étudiants de DEUG à comprendre le sens des actions qui leur sont demandées en travaux pratiques lorsque les dispositifs expérimentaux mêlent ce qui relève du phénomène, des conditions d'obtention/observation et du réglage des dispositifs de mesure. Ainsi, l'attention de l'étudiant est tournée vers le repérage d'indices de surface et centrée sur l'obtention du "bon signal". En retour, ces observations montrent les limites de l'élaboration des dispositifs expérimentaux à visée didactique et celles des fiches d'activités. Ceci concerne bien évidemment tous les niveaux d'enseignement.

3.2. De la formation des maîtres

En filigrane, dans la partie précédente, figurait déjà la question de la formation des enseignants. Il ne s'agit pas de la formation à la didactique en tant que recherche qui relève d'une formation de troisième cycle, mais bien d'une formation des enseignants et futurs enseignants qui apporte à la fois l'ensemble des connaissances pragmatiques issues des recherches en didactique et une "posture didactique" nécessaire à la bonne "application" des propositions. Mais la définition du contenu et de modalités adaptées au public des enseignants n'est pas sans difficultés.

l'image
de la science
chez les
enseignants

Ainsi l'image de la science analysée au niveau des enseignants en activité par Ezio Roletto (1995) à travers des questions sur la nature des connaissances scientifiques et les démarches pour les atteindre, sur les relations entre théorie et réalité, entre science et société, a montré qu'une majorité partage un point de vue empiriste-inductiviste et n'accorde que peu d'importance à la dimension sociale.

(18) Voir aussi, R. Journeaux dans J. Toussaint, 1996.

En amont, et dans le contexte de la création des IUFM, deux thèses ont porté sur la formation à la didactique des stagiaires de seconde année, futurs professeurs de sciences physiques des lycées et collèges. Partant des analyses critiques de S. Johsua sur le mythe naturaliste, Guy Robardet (1995) s'est interrogé sur les difficultés d'une formation didactique, dues en particulier à l'existence de représentations préalables des futurs maîtres sur la science, l'enseignement et l'élève. Le travail a porté à la fois sur la recherche de ces conceptions et sur l'impact d'une formation mise en place par l'auteur lui-même. Il en ressort en particulier que, si la représentation "naturaliste" est largement majoritaire, elle ne constitue pas un obstacle infranchissable à ce niveau. L'expérimentation montre la possibilité d'une formation à la didactique par une mise en rupture par rapport aux pratiques habituelles.

La rupture est à l'évidence une nécessité pour Monique Saint-Georges (1996). Mais cet important changement est peu compatible avec une formation "frontale" qui, de plus, s'oppose souvent à la référence des conseillers pédagogiques. Le choix fait dans cette thèse est de fonder une formation sur une pratique réflexive : la formation à la didactique s'opère par une formation "par la didactique". Le stagiaire est confronté à une séance dite "TP-problème" dont l'élaboration exige argumentation et prévision, dont la réalisation montre les écarts, et dont l'analyse ultérieure des transcriptions génère un questionnement de nature didactique permettant l'apport des résultats de la recherche. L'importance d'une conception développementale de la formation professionnelle des enseignants de sciences physiques a été également soulignée récemment par Ludovic Morge (1997) dans une étude de cas d'une formation de quelques professeurs stagiaires insatisfaits de leurs premières expériences professionnelles et demandeurs d'une formation.

Dans tous les cas, il reste la question de l'évaluation de ces types de formation à moyen terme et plus généralement, la question de la définition et de la survie (19) d'un "enseignement de didactique" dans la formation des maîtres reste posées.

3.3. En résumé

Un grand nombre de travaux ont donc conduit ou porté sur des propositions de maquettes d'enseignement ou de projets d'enseignement. Mais ces travaux ont généralement été conçus comme applications de résultats de recherches sur les conceptions ou raisonnement des élèves ou de propositions de transposition. Outre le fait que la dimension d'ingénierie didactique n'a pas été pleinement prise en compte, l'étude du fonctionnement de fait de l'enseignant n'en est qu'à ses débuts.

formation
à la didactique,
par la didactique

(19) Guy Robardet propose une analyse en terme de niche écologique, en référence à l'écologie des savoirs développée en didactique des mathématiques.

Il s'agit bien aujourd'hui d'accorder une plus grande importance au rôle de l'enseignant, tant comme acteur dans sa classe où son rôle semble en mutation passant de la transmission d'un savoir acquis vers la médiation dans la relation de l'élève aux savoirs, que comme concepteur de milieux didactiques (élaboration des cours, travaux pratiques, documents, procédés, etc.).

CONCLUSION

Au terme de cette revue de thèses en didactique de la physique et de la chimie, il convient peut-être de rappeler les limites du projet. Loin de vouloir rappeler tous les travaux et de les résumer sans les tronquer (tâche qui nécessiterait à l'évidence un ou plusieurs ouvrages (20)), il s'agit bien d'un essai de mise en articulation des différents travaux ayant conduit à une thèse. Cette dernière restriction n'est pas seulement une question de volume. Au regard de l'écho ou de la poursuite des différents travaux présentés, il semble important de réfléchir au positionnement des nouvelles thèses en didactique : la situation est sans aucun doute différente de ce qu'elle était il y a dix ans ou plus. Il n'est pas déraisonnable de souhaiter renforcer la cohérence et la portée des travaux : le choix des sujets doit alors se faire en fonction des questions laissées "en creux" ou en fonction des "applications". Dans le premier cas le souci est celui de la production de "modèles" plus synthétiques, plus théoriques (y compris dans le sens d'une cohérence avec les didactiques d'autres disciplines comme les mathématiques (21) ou la biologie (22)), dans le second cas, c'est celui de répondre à des questions qui se posent dans la réalité du terrain.

Enfin, et en écho aux remarques faites dans les précédentes parties sur sa mise à l'épreuve, la didactique est aussi attendue au niveau des "procédés". Différentes thèses déjà citées ont tenté de faire valoir cette composante et d'autres viennent les compléter sur des problématiques liées à l'utilisation des supports vidéo (Miriam Quintana-Robles, 1997 et Alfredo Robles, 1997) ou du multimédia (Patrice Venturini, 1997). La didactique, caractérisée par sa réfle-

réfléchir au
positionnement
des nouvelles
thèses

(20) Voir en bibliographie les ouvrages déjà parus qui remplissent en grande partie ce rôle.

(21) La connection reste faible avec la didactique des mathématiques. Outre les quelques aspects théoriques évoqués dans le texte, on peut citer la thèse de Léonidas Tsoumpelis (1993).

(22) Nous renvoyons au texte correspondant de ce numéro – de M. Coquidé-Cantor et C. Vander Borght – pour ce qui concerne les thèses de biologie-géologie. Citons le cas d'une thèse récente en didactique des disciplines scientifiques : *Contribution à l'identification des réseaux conceptuels associés à l'enseignement-apprentissage de l'énergie (l'enseignement-apprentissage de l'énergie pris dans un contexte pluridisciplinaire et une problématique environnementale)*, Catherine Verseils-Bruguière (1997).

rence aux contenus enseignés, mais aussi par ses méthodes d'analyse, se doit en effet d'être également présente à ce niveau.

Daniel BEAUFILS
IUFM de Versailles
Centre d'Orsay

BIBLIOGRAPHIE

- ARSAC, G. et al. (Éds.) (1994). *La transposition didactique à l'épreuve*. Paris : La pensée sauvage.
- BELHOSTE, B. et al. (1996). *Les sciences au lycée*. Paris : Vuibert-INRP.
- DELACOTTE, G., TIBERGHEN, A. (Éds.) (1983). *Premier atelier international de recherches en didactique de la physique*. Paris : CNRS.
- DRIVER, R. (Éd.) (1985). *Children's ideas in science*. Philadelphia : Open University Press.
- DUMAS-CARRÉ, A. et GOFFARD, M. (1997). *Rénover les activités de résolution de problèmes en physique*. Paris : Armand Colin, Coll. Formation des enseignants.
- INRP (1992). *Regards sur la modélisation*. Paris : INRP.
- INRP (1994). *La didactique des sciences en Europe*. Aster, 19.
- INRP (1994). *Nouveaux regards sur la modélisation*. Paris : INRP.
- JOHSUA, S., DUPIN, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : PUF, collection premier cycle.
- LEMEIGNAN, G., WEIL-BARAIS, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette.
- ROBARDET, G. et GUILLAUD, J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris : PUF.
- TOUSSAINT, J. (Éd.) (1996). *Didactique appliquée de la physique-chimie*. Paris : Nathan. Perspectives didactiques.
- VERGNAUD, G., BROUSSEAU, G., HULIN, M. (1988). *Didactique et acquisitions des connaissances scientifiques*. Paris : CNRS.
- VIENNOT, L. (1996). *Raisonnement en physique*. Bruxelles : De Boeck.

ANNEXE

LISTE DES THÈSES

1977

VIENNOT, L. *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Thèse d'état. Paris VII.

1978

SALTIEL, É. *Concepts cinématiques et raisonnements naturels : études de la compréhension des changements référentiels galiléens par les étudiants en science*. Thèse d'état. Paris VII.

1979

CREPAULT, J. *Le raisonnement cinématique*. Thèse d'état. Paris VIII.

KASTENBAUM, M. *Utilisation de schémas dans l'enseignement*. Paris VIII.

1980

BEN HAMIDA, J. *Modèles de fonctionnement de circuits électriques simples chez les enfants de 12 ans*. Paris VII.

1981

CHALOUI, E. *Mécanismes cognitifs utilisés par les élèves et leurs professeurs dans la résolution d'un problème électrocinétique. Rôle de la correction du problème, en classe, par les professeurs*. Paris VII.

DUREY, A. *Expérimentation d'un module d'électronique dans des classes de 4^e de l'enseignement du second degré : contribution à l'évaluation des actions de formation des maîtres*. Paris VII.

MACEDO de BURGHI, B. *Étude des pré-acquis de l'enfant sur les notions de chaleur et de température. Application au processus d'enseignement-apprentissage*. Paris XI.

FAUCONNET, S. *Étude de la résolution de problèmes : quelques problèmes de même structure en physique*. Paris VII.

1982

MARTINAND, J.-L. *Contribution à la caractérisation des objectifs de l'initiation aux sciences et techniques*. Thèse d'état. Paris XI.

MÉHEUT, M. *Combustions et réaction chimique dans un enseignement destiné à des élèves de 6^e ; analyse d'une expérience d'enseignement comportant la présentation d'un modèle particulière. Étude des conceptions des élèves.* Paris VII.

PIERRARD, M.-A. *Notions physiques, objets techniques et structures mathématiques à propos de la température au cycle moyen.* Paris VI.

JOHSUA, S. *L'utilisation du schéma en électrocinétique : aspects perceptifs et aspects conceptuels. Propositions pour l'introduction du potentiel en électrocinétique.* Aix-Marseille 2.

1983

CLOSSET, J.-L. *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique.* Paris VII.

1984

ABBOUD, R. *Le phénomène d'induction électromagnétique et son enseignement au lycée et à l'université.* Paris VII.

HADADAH, K. *Étude comparative de l'histoire et de l'épistémologie de l'optique géométrique et des représentations des élèves libanais dans le même domaine.* Paris XI.

KHRAIBANI-MOUNAYAR, S. *Registres d'interprétation des élèves et des professeurs de collège dans le domaine de la mécanique.* Paris VII.

1985

GUESNE, É. *Contribution à la définition d'un enseignement sur la lumière et l'optique pour les enfants de 13-14 ans.* Paris XI.

JOHSUA, S. *Contribution à la délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique. Thèse d'état.* Aix-Marseille 1.

SÉRÉ, M.-G. *Analyse des conceptions de l'état gazeux qu'ont les enfants de 11 à 13 ans, en liaison avec la notion de pression, et propositions de stratégies pédagogiques pour en faciliter l'évolution.* Thèse d'état. Paris VI.

FAWAZ, A. *Image optique et vision : étude exploratoire des difficultés des élèves de Première au Liban.* Paris VII.

1986

MAURINES, L. *Premières notions sur la propagation de signaux mécaniques : étude des difficultés des étudiants.* Paris VII.

1987

DAVOUS, D. *Analyse d'un système d'enseignement supérieur : le premier cycle d'études médicales. Recherche et expérimentation sur l'enseignement de la chimie à finalité biomédicale.* Thèse d'état. Poitiers.

DUMAS-CARRÉ, A. *La résolution de problèmes en physique au lycée. Le procédural : apprentissage et évaluation.* Thèse d'état. Paris VII.

DUREY, A. *Vers des activités didactiques de mise au point de modèle de physique avec des micro-ordinateurs. Exemples : trajectoires, frappes et rebonds de balles en rotation.* Thèse d'état. Paris VII.

1988

LEFÈVRE, R. *Contribution à l'étude des conceptions des étudiants de l'université sur le thème de l'optique.* Thèse d'état. Paris VII.

ROZIER, S. *Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique classique élémentaire.* Paris VII.

1989

BENSEGHIR, A. *Transition électrostatique-électrocinétique : point de vue historique et difficultés des élèves.* Paris VII.

LOUMIS, A. *L'introduction aux modèles vectoriels en physique et en mathématiques : conceptions et difficultés des élèves, essais de remédiation.*

ABBOUD, R. *Difficultés de l'enseignement dans deux domaines de la physique : le phénomène d'induction électromagnétique et la propagation des ondes mécaniques.* Paris VII.

GIRAULT, Y. *Contribution à l'étude de la bande dessinée comme outil de vulgarisation scientifique.* Genève.

1990

GOFFARD, M. *Modes de travail pédagogique et résolution de problèmes de physique.* Paris VII.

STAVRIDOU, H. *Le concept de réaction chimique dans l'enseignement secondaire. Étude des conceptions des élèves.* Paris VII.

ZIMMERMAN, M.-L. *Concept de chaleur : contribution à l'étude des conceptions d'élèves et de leurs utilisations dans un processus d'apprentissage.* Genève.

1991

SOLOMONIDOU, C. *Comment se représenter les substances et leurs interactions ? Étude chez de jeunes élèves du collège.* Paris VII.

BEAUFILS, D. *L'ordinateur outil de laboratoire dans l'enseignement des sciences physiques ; propositions pour la construction d'activités, première analyse des difficultés et des compétences requises chez les élèves de lycée.* Paris VII.

KAMINSKI, W. *Optique élémentaire en classe de quatrième : raisons et impact sur les maîtres d'une maquette d'enseignement.* Paris VII.

1992

WINTHER, J. *Étude didactique de l'utilisation de l'informatique pour la modélisation et la manipulation de modèles en sciences physiques*. Paris XI.

1993

COELHO, S.-M. *Contribution à l'étude didactique du mesurage en physique dans l'enseignement secondaire : description et analyse de l'activité intellectuelle et pratique des élèves et des enseignants*. Paris VII.

TSOUMPELIS, L. *Contribution théorique à la didactique des sciences physiques ; explications et modèles dans des situations a-didactiques en sciences physiques : le cas de la concentration molaire*. Lyon I.

1994

BOULDOIRES, B. *Quelle énergie pour les électroniciens : contribution à la catégorisation d'un enseignement de la notion d'énergie dans les sections électroniques des lycées techniques*. Toulouse III.

CALDAS, H. *Le frottement solide sec : le frottement de glissement et non-glissement*. Paris VII.

CHAUVET, F. *Construction d'une compréhension de la couleur intégrant sciences, techniques et perception*. Paris VII.

COMTE, M.-J. *Approche des odeurs et des saveurs à l'école élémentaire*. Paris VII.

1995

ROLETTA, E. *La nature du savoir scientifique. Points de vue d'enseignants et de futurs enseignants*. Montpellier II.

DIMITRACOULOPOULOU, A. *Le tutorat dans les systèmes informatisés d'apprentissage : étude, conception et réalisation d'un tutoriel d'aide à la représentation physique des situations étudiées par la mécanique*. Paris VII.

RAINSON, S. *Superposition des champs électriques et causalité : étude de raisonnements, élaboration et évaluation d'une intervention pédagogique en classe de mathématiques spéciales technologiques*. Paris VII.

ROBARDET, G. *Didactique des sciences physiques et formation des maîtres : contribution à l'analyse d'un objet naissant*. Grenoble I.

1996

GUILLON, A. *Étude épistémologique et didactique de l'activité expérimentale en vue de l'enseignement et de l'apprentissage des démarches du physicien, dans le cadre des travaux pratiques de première et deuxième année d'université*. Paris XI.

SAINT-GEORGES, M. *Formation des professeurs de sciences physiques par la didactique*. Paris VII.

DOULIN, J. *Analyse comparative des difficultés rencontrées par les élèves dans l'appropriation de différents types de graphismes techniques en classe de seconde, option TSA*. ENS Cachan.

CALMETTES, B. *Contribution à l'étude des curriculums. Le cas de l'enseignement de l'électrocinétique dans les classes du second degré des lycées d'enseignement général et technologique*. Paul Sabatier, Toulouse.

GOMATOS, L. *Résolution de problèmes en petits groupes. Contributions et difficultés*. Paris VII.

CANAL, J.-L. *Courant, tension, résistance et énergie. Essai de conceptualisation des grandeurs fondamentales en électricité*. Toulouse.

1997

PATEYRON, B. *La mobilisation des savoirs dans la formation professionnelle*. Lyon.

QUINTANA-ROBLES, M. *Étude didactique de films comme aide pour l'enseignement de la physique. Cas de l'expansion des gaz*. Lyon I et II

ROBLES, A. *La vidéo comme support didactique en physique. Interprétation microscopique d'un phénomène macroscopique : la propagation du son*. Lyon I et II.

ROBINAULT, K. *Rôle de l'expérience en classe de physique dans l'acquisition des connaissances sur les phénomènes énergétiques*. Lyon.

MORGE, L. *Essai de formation professionnelle des professeurs de sciences physiques portant sur les interactions de classe*. Paris VII.

VERSEILS-BRUGUIÈRE, C. *Contribution à l'identification des réseaux conceptuels associés à l'enseignement-apprentissage de l'énergie (l'enseignement-apprentissage de l'énergie pris dans un contexte pluridisciplinaire et une problématique environnementale)*. Montpellier II.

VENTURINI, P. *Conception et évaluation d'une base de données hypermédia. Révision du programme de la classe de Seconde*. Toulouse.

1998

LASCOURS, J. *Étude d'un objet d'enseignement : le condensateur*.

LAURENT-ROLLIN, S. *Identification par les élèves de critères d'évolution des exercices : un exemple en chimie en classe de Seconde*. Aix-Marseille.

BENEY, M. *Contribution à l'analyse des phases manipulatoires des travaux pratiques de physique en premier cycle universitaire. Les apprentissages possibles à travers la conduite de l'action*. Paris XI.

LAUGIER, A. *Les obstacles épistémologiques et la représentation de la transformation chimique*. Montpellier.

HIRN, C. *Transformations d'intentions didactiques par les enseignants : le cas de l'optique élémentaire en classe de 4^e*. Paris VII.

GANARAS, K. *La conceptualisation des équilibres chimiques*. ENS Cachan.

AU MILIEU DES COURANTS, CONSTITUTION D'UNE DIDACTIQUE DES SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

Guy Rumelhard

Les sciences de la vie se définissent en tension entre un réductionnisme physico-chimique et des conceptions philosophiques ou métaphysiques tels les concepts de vie ou de santé eux-mêmes. La didactique oscille de même en tension entre une préoccupation de scientificité et un engagement militant au service d'une préoccupation éthique et politique. Les débats entre didacticiens se cristallisent autour de quatre notions qui sont à la croisée et qui impliquent une grande culture pour être discutées : interdisciplinarité, différenciation, objectifs, obstacles.

s'appuyer sur
une définition
univoque

Pour tracer cet historique on rencontre une difficulté qui n'est pas un obstacle rédhibitoire et qui est même peut-être une force : on ne peut, actuellement, s'appuyer sur une définition précise et univoque de la didactique. Plus exactement, dans les nombreuses définitions proposées par D. Lacombe (1), J.-P. Astolfi (2) A.-M. Drouin (3), J.-L. Martinand (4), M. Caillot (5) et bien d'autres (6) la distinction entre didactique, pédagogie, éducation ne fait pas l'unanimité.

Certains auteurs proposent une centration aux contours flous sur le savoir, ou l'enfant, ou les valeurs ; d'autres proposent une suite de concepts emboîtés (éducation qui inclut pédagogie, qui inclut didactique,... l'enchaînement pouvant être renversé) ; d'autres proposent une succession dans le temps (avant ou après la classe) ; d'autres proposent la rigueur d'une méthode spécifique ou bien au contraire la spécificité d'un projet et de problèmes, la méthode étant empruntée à d'autres disciplines.

ou suivre le
cheminement de
didacticiens

On peut alors se rabattre très concrètement sur le groupe d'enseignants qui se reconnaissent actuellement sous ce vocable de "didacticiens", rassemblés autour d'une matière nommée actuellement officiellement en France "Sciences de

-
- (1) LACOMBE, D. (1968). "Didactique". *Encyclopædia Universalis*.
 - (2) ASTOLFI, J.-P., DEVELAY, M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris : PUF.
 - (3) DROUIN, A.-M. (1993). *La pédagogie. 50 mots*. Paris : Desclée de Brouwer.
 - (4) MARTINAND, J.-L. (1994). "La didactique des sciences et de la technologie et la formation des enseignants". *Aster*, 19, 61-75.
 - (5) CAILLOT, M. (1992). Vers une didactique cognitive ? *Intellectia* 1/2 (13-14), 273-289.
 - CAILLOT, M., RAISKY, Cl. (1996). *Au-delà des didactiques, le didactique — Débats autour de concepts fédérateurs*. Bruxelles : De Boeck.
 - (6) JONNAERT, Ph., VANDER BORGHT, C. (1999). *Créer des conditions d'apprentissage*. Bruxelles : De Boeck.

la Vie et de la Terre". On admettra que l'on prouve le mouvement en marchant, ou bien au contraire qu'une auto-proclamation ne peut servir de définition.

Quant à l'unité de la matière d'enseignement (SVT), elle fait également problème. Selon les pays la géologie est ou non rapprochée de la biologie, de la physique, de l'astronomie ou de la géographie. L'écologie et l'environnement sont souvent partagés entre la biologie et la géographie, les sciences naturelles sont souvent opposées à la biologie selon le clivage entre description et explication. Quant à l'éducation à la santé, les médecins en revendiquent parfois l'exclusivité. Il est vrai que l'objet même de l'enseignement c'est-à-dire "la vie" pose problème puisque la biologie moderne "ne l'interroge plus dans ses laboratoires" (7) et que les chimistes prétendent que "la vie n'existe pas" (8). La vie serait un concept métaphysique ou philosophique.

En physiologie et en biologie cette difficulté est une force car elle relance en permanence deux questions : comment se démarquer de la philosophie et des représentations communes d'une part, comment éviter le réductionnisme physico-chimique et le scientisme d'autre part. Ces questions peuvent être transposées à propos de la constitution de la didactique des Sciences de la Vie et de la Terre.

entre
réductionnisme
et métaphysique

1. PREMIER FIL CONDUCTEUR : LES MOUVEMENTS PÉDAGOGIQUES

un engagement
militant

On peut, en premier lieu, caractériser une préoccupation militante et un lieu institutionnel : l'Institut Pédagogique National (I.P.N.). Au milieu des années soixante cet institut qui se dénomme simplement I.P.N., le mot pédagogie se suffisant à lui-même, est un lieu de documentation et de conception d'aides pédagogiques théoriques et surtout pratiques. C'est aussi un lieu de rencontre à vocation nationale. Il accueille en particulier plusieurs mouvements pédagogiques dont les CRAP (Cercle de Recherche et d'Action Pédagogique). Après 1968 les mots "pédagogie" et "mouvement" sentent le soufre. L'I.P.N. est alors le lieu d'un conflit : d'un côté, l'administration prend le soin de se démarquer de toute connotation militante en procédant à l'exclusion de tous les mouvements pédagogiques qu'elle héberge, d'un autre, l'institut attire quelques pédagogues à tendance libertaire. Pendant longtemps les enseignants travaillant en relation avec l'I.P.N. resteront marqués au fer rouge aux yeux de certains universitaires et de certains inspecteurs, avant de devenir au goût du jour.

autonomie,
innovation,
mouvement

La préoccupation dominante privilégie l'innovation, l'autonomie, l'autogestion, une dynamique d'entraînement bien plus

(7) JACOB, F. (1970). *La logique du vivant*. Paris : Gallimard.

(8) KAHANE, E. (1962). *La vie n'existe pas*. Paris.

que la rigueur d'une argumentation, d'une preuve ou la référence à des professionnels experts en pédagogie.

Pour prendre une métaphore médicale, on pourrait parler de maladie contagieuse de la pensée, maladie qui implique exclusion, maladie qui se transmet plus par contact direct que par des textes publiés. Ceci explique en particulier le très petit nombre d'articles et de livres de didactique de la biologie avant 1978.

2. DEUXIÈME FIL CONDUCTEUR : LA PRÉOCCUPATION DE SCIENTIFICITÉ

La préoccupation de scientificité est un trait majeur de la réflexion contemporaine sur l'enseignement en général. On peut en suivre la trace depuis le début du siècle avec Binet, Simon, Piéron, Claparède, Piaget... jusqu'à A. Giordan (9). Les problématiques de recherche sont centrées par exemple sur la notation, l'intelligence de l'enfant ou sa psychologie. Elles se posent comme condition d'une amélioration de l'enseignement et de l'apprentissage.

On peut suivre les progrès de cette tendance à travers les transformations du vocabulaire : le mot "étude" est remplacé par "recherche" ; les mots "expérience" et "expérimental" apparaissent, ainsi que "laboratoire", "évaluation", etc. Parmi les conséquences de ce changement un conflit apparaît. Les enseignants — qui enseignent — deviennent des "terrains d'observation", et il apparaît des enseignants-chercheurs qui parfois n'enseignent plus, ou même n'ont jamais enseigné.

la théorie et
ses applications

transformer
les acteurs
en agents

Les mouvements pédagogiques voient dans cette séparation de fait entre théorie et pratique le risque de créer un groupe d'experts. Il peut s'en suivre une certaine hiérarchie, sinon de la condescendance plus ou moins méprisante. Cela risque également de déresponsabiliser les enseignants qui peuvent s'arrêter de réfléchir par eux-mêmes et s'en remettre à plus compétents qu'eux. On risque de transformer des acteurs en agents d'exécution.

- Du côté des chercheurs les proclamations bien intentionnées précisent que "la recherche est au service de...", "la recherche est organiquement liée à l'enseignement", "l'innovation est à la source des recherches et en reste le moteur", etc.

- Du côté des enseignements on tente de promouvoir et de revendiquer un modèle de recherche dite "impliquée" (et non pas appliquée !), ou de recherche-action qui trouve son

(9) GIORDAN, A. et al. (1978). *Quelle éducation scientifique pour quelle société ?* Paris : PUF. Pp. 9-11, on répète quatre fois "notre pédagogie n'est pas scientifique".

modèle dans la psychanalyse (10) ou dans l'ethnopsychiatrie (11). Certains franchissent une étape de plus en refusant toute "didactique théorique".

La tentation traditionnelle de mettre "la recherche" au service de projets administratifs ou politiques et de rejeter le "pédagogique" du côté du verbiage creux et des petites inventions pratiques sans grande portée théorique trouve ici, dans ce conflit, un terrain de choix pour s'insérer.

Pour préciser les termes de ce conflit il faut analyser le triple contexte universitaire qui soutient cette préoccupation de scientificité. Il faut cependant noter que l'engagement militant n'est pas lui-même univoque loin de là ! Entre l'engagement rationaliste préconisé par G. Bachelard (12), l'engagement libertaire, politique ou religieux, il n'y a que peu de coïncidence. Et tous sont représentés dans l'enseignement. Nous laisserons de côté les demandes administratives qui sont toujours finalement des questions de quantité, d'autorisation ou de contrôle.

3. LE TRIPLE CONTEXTE UNIVERSITAIRE

3.1. Les disciplines des Sciences de la Vie et de la Terre

la pédagogie
des idées claires

Dans les diverses disciplines des Sciences de la Vie et de la Terre, les universitaires adhèrent majoritairement à ce que l'on nomme "la pédagogie des idées claires". S'ils pensent à une rationalisation possible de l'enseignement c'est en projetant sur la recherche, sans aucune adaptation, le modèle des sciences expérimentales tel qu'ils le pratiquent en biologie avec un réductionnisme de méthode qui se transforme parfois en "philosophie scientiste".

3.2. La (les) philosophie(s)

- La philosophie a toujours regardé vers les connaissances scientifiques ou mathématiques. Selon D. Lecourt (13), l'existence de connaissances scientifiques est à la fois le motif qui l'a provoquée à naître (du temps de Pythagore selon la légende) et qui l'a sans cesse sollicitée à se renouveler. Une longue tradition s'inscrit dans le projet de constituer une théorie de la production des connaissances de

(10) LAGACHE, D. (1980). *La psychanalyse*. Paris : PUF, coll. *Que sais-je ?*

(11) DEVEREUX, G. (1980). *De l'angoisse à la méthode*. Paris : Flammarion.

(12) BACHELARD, G. (1972). *L'engagement rationaliste*. Paris : PUF. Textes rassemblés et présentés par G. Canguilhem.

(13) LECOURT, D. (1997). "Qu'est-ce donc que la philosophie ?". In *Déclarer la philosophie*. Paris : PUF. Pp. 203-210.

laquelle on pourrait déduire une théorie de l'apprentissage unique et universelle. Mais il y a plusieurs écoles dans cette tradition :

plusieurs écoles
épistémologiques

- celle d'une philosophie qui se veut scientifique et qui se centre (d'autres disent se réduit !) sur l'analyse logique du langage de la science ; elle devient assez largement une science du langage et a œuvré autrefois pour la promotion d'une langue qui serait idéalement bien faite ; on désigne ici essentiellement le positivisme logique de tradition anglo-saxonne, celui de Carnap par exemple ;
- celle d'une épistémologie expérimentale, développée par Piaget, qui, elle aussi, se veut scientifique c'est-à-dire en particulier anti-philosophique sinon même anti-spéculative, et que beaucoup nomment simplement "empirique" ;
- celle d'une épistémologie historique développée par Cavailles, Koyré, Bachelard et leurs successeurs pour les mathématiques et la physique ; par Canguilhem et ceux très nombreux qui se reconnaissent en lui (C. Salomon-Bayet, Y. Conry, C. Debru, D. Lecourt, A.-M. Moulin, M. Foucault, Y. Schwartz, G. Gohau, et bien d'autres), qui refusent toute théorie générale de la connaissance, tout critère *a priori* de scientificité par exemple, qui ne développent que des analyses "régionales" et historiques dont l'unification reste problématique.

Les didacticiens empruntent à l'un ou l'autre de ces courants, soit de manière strictement exclusive, soit au contraire de manière éclectique. Mais de manière plus large on peut noter chez les didacticiens une véritable *épistémophilie* pour ne pas dire une *épistémolâtrie* (14) au sens où l'une ou l'autre de ces écoles épistémologiques serait le vrai fondement (15) de toute didactique.

Cette fondation (supposée) autoriserait à "oublier" (ou laisser en dehors des débats) les questions de finalité, c'est-à-dire de relation avec les questions de liberté, de citoyenneté, de démocratie, autrement dit les questions concernant les dimensions politiques et éthiques, celles du sens et des valeurs.

une réflexion
éthique et
politique

• Or, la philosophie a toujours développé une réflexion éthique et politique. Plus précisément, pour de nombreux auteurs l'éthique n'est pas un chapitre de la philosophie mais une dimension de toute philosophie (cf. Spinoza). Il est vrai que, dans les sciences de la vie, cette dimension longtemps cantonnée dans le chapitre "hygiène", ou plus largement "éducation à la santé" a progressivement envahi tous les chapitres à travers les questions d'écologie, d'environnement, de fécondation médicalement assistée, de biotechnologies, etc. La valeur de cet enseignement ne réside plus uniquement dans une "initiation à la méthode expérimentale".

(14) LECOURT, D. (1982). *La philosophie sans feinte*. Paris : J.-E. Hallier, Albin Michel.

(15) ASTOLFI, J.-P., DEVELAY, M. (1989). *Op. cit.*, p. 24.

3.3. Les sciences de l'éducation

Le singulier (l'éducation) et le pluriel (les sciences) doivent être interrogés. Il y aurait plusieurs sciences qui convergent de manière interdisciplinaire sur un objet unique. L'éducation se présenterait comme un objet "naturel" c'est-à-dire empirique et non pas construit. De fait chaque "science" qui l'interroge construit son objet et cette pluralité d'approches ne coexiste que de manière souvent conflictuelle. Il est difficile d'isoler dans cette pluralité une approche qui se nommerait "didactique au sens strict". Même sur le critère de la prise en compte du contenu du savoir enseigné le partage n'est pas aisé. Prenons quelques exemples :

prendre en compte le savoir enseigné

- le courant libertaire, souvent dynamisé par de grandes utopies (citons C. Rogers, J. Lapassade, etc.) et un courant psychologique qui se présente comme "science de la relation" semblent effectivement faire peu de cas du savoir enseigné ;
- mais les pédagogues qui tentent d'utiliser la psychanalyse dans des institutions (Maud Mannoni, F. et J. Oury, C. Langignon, etc.) ne se désintéressent pas du contenu ; simplement ils ne l'isolent pas et prennent en compte sa "signification" autant que sa valeur explicative et opératoire ; le travail, difficile d'accès, de J.-P. Valabrega qui propose "*une théorie psychanalytique de la connaissance*" en est un bon exemple ;
- le courant de psychologie "cognitive" né au milieu des années 1980 se propose de devenir une "science cognitive" et de l'intelligence (artificielle) ; les "cogniticiens" deviendront-ils les vrais "didacticiens" ?
- les sciences de la communication analysent les "formes" de la transmission du savoir en séparant parfois la "forme" et le "fond", le contenu transporté ;
- il n'est pas plus aisé d'isoler l'approche sociologique dans la mesure où, par exemple, le livre de Bourdieu et Passeron analyse, en 1964, le fait que la reconnaissance des "héritiers" se fait sur la base d'un savoir et d'une culture.

science de l'homme ou pour l'homme

au service d'un projet utilitaire

Mais aux yeux de certains philosophes les "sciences humaines" (qui intègrent les sciences de l'éducation) sont depuis longtemps accusées d'être des sciences pour l'homme (comme on dit des sciences pour l'ingénieur) et non pas sciences de l'homme comme objet d'étude. Que cet objet soit "empirique", à construire, ou à déconstruire comme le pensent les structuralistes. C'est-à-dire que les sciences dites de l'homme sont entièrement tournées vers l'opérativité, vers la gestion, vers l'utilité et non vers l'explication ou la signification. Elles regardent l'homme comme moyen au service d'un projet d'utilité selon le mot de Sartre repris par Canguilhem.

À ceux qui voudraient distinguer et juxtaposer (sinon conjuguer) :

- une éducation centrée sur les valeurs et le sens,

distinguer
pédagogie,
éducation,
didactique

enseigner
de manière
pragmatique,
sans définition
des finalités
éducatives

- une pédagogie centrée sur le sujet-élève apprenant dans une institution,
 - une psychologie centrée sur le sujet-enfant, un enfant singulier allant-devenant comme dit F. Dolto,
 - et enfin une didactique centrée sur le savoir,
- il faut rappeler que toute théorie de la connaissance implique une conception du sujet qui produit (et pour nous, qui assimile) les connaissances :
- sujet empirique de Piaget, qu'il souhaite universel,
 - sujet transcendantal de Kant,
 - sujet social, communicant des psychosociologues,
 - sujet singulier des psychanalystes,
 - mais aussi subjectivité universelle sans théorie du sujet de Canguilhem et des structuralistes,
 - sans compter le "sujet pragmatique" de certains didacticiens qui pensent pouvoir imiter le médecin qui soigne très bien la plupart des maladies (mais pas toutes !) sans disposer d'une définition précise et admise de la santé, sinon même du bonheur ! Et la médecine sait se démarquer des "rebouteux" et des "guérisseurs". Mais l'éducation scientifique n'est pas du tout dans la même situation. La plupart des méthodes pédagogiques proviennent d'innovations réalisées en dehors de toute "théorie". Il n'existe pas de méthode éducative qui ne présuppose et n'implique une finalité éducative. Le concept d'éducation n'a pas la "positivité" de celui de santé. Ce dernier réfère au moins à une décision personnelle du malade qui est un patient.

Ainsi les "sciences" de l'éducation et les épistémologies qui se veulent scientifiques se heurtent et s'excluent. Les conflits, les charges assassines et les mises à mort sont nombreuses ! Il n'est pas inutile de donner quelques exemples de ces conflits. Piaget récuse Kant, c'est-à-dire toute forme d'apriorisme et d'innéisme, ainsi que le sensualisme. Par contre il ne cite jamais, fût-ce pour s'en démarquer, les tenants d'une épistémologie historique. Il est vrai qu'il professe un anti-philosophisme net.

Dans un petit livre Didier Gil nous apprend que Piaget côtoie Bachelard en particulier dans un congrès à Cracovie sur "*la valeur morale de l'éducation scientifique*", et c'est Suzanne Bachelard qui justifie ce silence réciproque (16). Liliane Maury analyse très longuement les critiques formulées par cette épistémologie à l'encontre de Piaget (17).

Bachelard connaît et cite F. Dolto pour justifier sa psychanalyse de la connaissance scientifique. Jean Rostand qui est le seul biologiste à souligner l'intérêt de la thèse de F. Dolto en 1939 n'en tire aucune réflexion pour l'enseignement.

Bruno Bettelheim cite longuement Piaget (18) pour rechercher quelques convergences avec ses travaux sur l'autisme

(16) GIL, D. (1993). *Bachelard et la culture scientifique*. Paris : PUF.

(17) MAURY, L. (1984). *Piaget et l'enfant*. Paris : PUF.

(18) BETTELHEIM, B. (1989). *La forteresse vide*. Paris : Gallimard (trad. 1967).

récusé toute
psychologie à
prétention
scientifique

dans la notion d'égoïsme et le contredit totalement. Dans une conférence prononcée en 1956 et publiée en 1958 Canguilhem récusé toute psychologie à prétention scientifique. Son texte est republié par Lacan (19) en 1966. Dans une conférence publique en Sorbonne Canguilhem élargit sa critique aux sciences cognitives naissantes (20). Le texte publié tardivement est salué en 1990 par E. Roudinesco (21). On pourrait évidemment penser qu'il s'agit d'entrer dans le détail de l'argumentation sur telle ou telle notion ou concept. Mais en fait c'est "à la base", "au point de départ" que se situent les exclusions. Bien évidemment les tentatives de conciliation existent également (22).

4. QUATRE NOTIONS CRUCIALES

On pourrait préciser les termes des conflits en examinant quatre mots qui cristallisent de nombreux débats : interdisciplinarité, différenciation, objectif et obstacle. Nous ne ferons que les évoquer ici dans cette brève présentation.

4.1. L'interdisciplinarité

Le terme avec les consignes pratiques qu'il implique était un thème central dans les recherches pédagogiques entreprises dans les "collèges expérimentaux" (L. Legrand) (23) et le lycée expérimental (Quignard) (24). Il le demeure dans tous les travaux de didactique, mais se décline de nombreuses manières :

pouvoir ou
capacité

- dans le langage opératoire on remplace les contenus disciplinaires par capacité, aptitude, compétence, performance, méthodologie, etc. ;
- dans le langage d'E. Morin on définit des thèmes d'étude autour d'objets (supposés) "naturels" ;
- dans le langage structuraliste les thèmes sont ceux de la perte, du manque, du vide, de la dette, du jeu des possibles, de la loi-langage, de l'interdit, de la fonction négative, etc. ;

-
- (19) CANGUILHEM, G. (1968). "Qu'est-ce que la psychologie ?" . In *Études d'histoire et de philosophie des Sciences*. Paris : Vrin, 7ème éd. 1994.
- (20) CANGUILHEM, G. (1993). "Le cerveau et la pensée". In *Georges Canguilhem, philosophe, historien des Sciences*. Paris : Albin Michel.
- (21) ROUDINESCO, E. (1993). "Situation d'un texte : "Qu'est-ce que la psychologie ?"". In *Georges Canguilhem, philosophe, historien des Sciences*. Paris : Albin Michel.
- (22) ASTOLFI, J.-P. (1997). *L'erreur, un outil pour enseigner*. Paris : ESF éd.
- ASTOLFI, J.-P. (1990). "L'émergence de la didactique de la biologie, un itinéraire". *Aster*, 11, 195-224.
- (23) LEGRAND, L. (1982). *Pour un collège démocratique*. Paris : La Documentation française.
- (24) QUIGNARD, J. (1975). *Propositions pour un lycée expérimental*. Paris : INRDP. Coll. *Rapports de recherche*.

- à l'intérieur de la biologie les découpages disciplinaires ont été plusieurs fois remis en cause et font partie intégrante de l'évolution de la recherche, à la fois dans leur constitution et dans leurs remaniements ; ils sont aide et obstacle.

4.2. La différenciation pédagogique

L'universalité est énoncée au nom d'un principe démocratique. Mais traduit en termes pédagogiques l'unité se transforme en uniformité souvent critiquée. L'éloge de la différence reste cependant ambigu et de nombreuses tentatives de différenciation, de discrimination positive, de didactique pluraliste sont accusées d'atteindre l'effet inverse de celui escompté. N'est pas démocrate qui veut et à si peu de frais !

4.3. Objectifs versus obstacles

aptitude ou performance

Le concept d'objectif impliquant un langage opératoire (capacité, aptitude, compétence, performance) semble aisément accessible sans culture générale en dehors du champ des sciences. Saisir son contenu objectivable et opératoire semble ne nécessiter qu'une bonne méthode. Ainsi pédagogie et didactique sont parfois identifiées à méthodologie. De plus ce concept semble répondre au besoin de professionnalisation des enseignants, au besoin d'expertise, d'évaluation objective, au souhait d'autonomie de certaines pratiques pédagogiques, au souci d'interdisciplinarité évoqué précédemment, au souci de différenciation et à la question des finalités de l'enseignement si elle ne se réduit pas à une liste de "contenus".

le passage de la pensée commune à la pensée scientifique

Le concept d'obstacle a une fonction polémique et critique. Ce n'est pas un concept qui pourrait se laisser enfermer dans une définition positive. Il demande, pour être utilisé avec pertinence une culture très large, on pourrait dire la plus large possible en dehors du champ des sciences. Les obstacles ont une origine "en dehors des sciences" et bien souvent une autre fonction en dehors des sciences. Si l'on adopte le point de vue de Bachelard il s'agit d'analyser les fonctions de l'imaginaire, donc de relier les "lettres" et les "sciences". Mais en biologie, il y a beaucoup plus. Toutes les sciences de la vie sont traversées de questions concernant les idéologies, les utopies, les illusions. Le concept d'obstacle précise que le centre de gravité d'un enseignement des SVT se situe dans le passage de cette pensée sociale commune à la pensée scientifique.

5. DEVENIR UNIVERSITAIRE OU FORMATEUR

Ce long détour par le triple contexte théorique permet de tracer quelques itinéraires d'enseignants devenus didacti-

ciens. Tous les débats évoqués se traduisent de manière fort différente selon les niveaux d'enseignement et aussi en fonction de la présence de psychologues ou de professeurs de philosophie dans les travaux de recherche.

Pour les didacticiens qui ont entrepris une carrière universitaire ou de formateur en IUFM après avoir soutenu thèse (voir document en annexe) et habilitation à diriger des recherches on peut noter deux caractéristiques :

- une augmentation du nombre des publications (articles et livres) et une très grande augmentation du nombre des références citées ;
- un approfondissement des lignes de fracture entre "didactique au sens strict", "sciences de l'éducation", "histoire et épistémologie des sciences", "discipline des Sciences de la Vie et de la Terre". On pourrait tenter de les mesurer par le nombre de références communes citées par ces diverses options. Il est souvent inférieur à 10 %.

Mais les écarts qui se creusent sont (seulement) théoriques, et cela n'interdit pas nécessairement la possibilité d'actions communes. On peut même soutenir que cela pourrait l'approfondir dans la mesure où ces fractures obligent à approfondir la question de la tolérance qui constitue le fondement de l'agir ensemble. Le mot tolérance se traduit aussi, dans l'enseignement scientifique, par laïcité. Et le concept d'obstacle oblige à penser cette frontière qui est aussi un lieu d'échange et de passage.

agir quand
même ensemble

6. RESTER ENSEIGNANT ET REFUSER UNE SCIENCE DE LA PRATIQUE

Le concept d'application du savoir théorique développé par A. Comte désigne une triple relation de postériorité, d'imitation nécessairement imparfaite, de subordination et de dépendance, donc d'infériorité. Nous disions initialement que les enseignants "de terrain" avaient emprunté plusieurs directions pour contester cette idée : privilégier une autre méthode de recherche, rappeler le caractère initial et moteur de l'innovation, privilégier le relationnel ou le militantisme.

Mais la préoccupation de scientificité n'ayant pas de limite, certains auteurs ont tenté de constituer une "science de la pratique" nommé parfois "*praxéologie*". Trois auteurs permettent de récuser cette prétention de scientificité et de soutenir positivement cette priorité au fait d'enseigner sans abandonner une réflexion sur sa pratique. Nous nous limiterons ici à citer Michel de Certeau qui, dans *L'invention du quotidien* développe les notions de "*grappillage*" ou du "*braconnage*"; Michel Foucault qui, tout au long de son œuvre, analyse les micro pouvoirs dont la cohérence et l'unification font problème, et la nécessité de "*faire usage de soi*"; Yves Schwartz qui souligne les différences entre agent et acteur,

la théorie
sur le terrain

il n'y pas de
science de la
pratique

entre le travail prescrit et le travail réel, et analyse les subversions infinitésimales.

Sans nier la nécessité d'une institutionnalisation d'un courant de recherche, on peut rappeler en permanence non pas tant les risques bien connus de cette institutionnalisation (ambition, hiérarchie, carrière, sclérose...) mais le fait que "l'objet" de réflexion-recherche est un élève-étudiant.

contre la
technicisation de
la didactique

Contre toute tentation de réductionnisme ou de technicisation, certains didacticiens ressentent donc la nécessité de rester enseignants au niveau de la scolarité où leur réflexion se porte de façon à éprouver en permanence la radicale insuffisance de toute théorie de l'apprentissage, ou bien au contraire ses excès, sans renoncer pour autant à théoriser leur pratique. La pratique théorique doit être rangée à côté des autres pratiques. Elle entre dans leur définition générale.

La description de ces tensions provoquées par des choix théoriques et des pratiques divergents indique un but possible pour toute association de didacticiens : garder ces questions ouvertes, ou plus exactement contribuer en permanence à les réouvrir, car il existe de nombreux facteurs qui convergent pour les refermer, les enfouir, les recouvrir.

Vouloir éviter ces conflits en se repliant à l'intérieur des murs d'une forteresse peut avoir une utilité temporaire pour conquérir des positions fortes, mais on risque l'insignifiance intellectuelle. B. Bettelheim nous a prévenus, "*la forteresse est vide*" parce qu'elle est forteresse. Il faut prendre au sérieux le concept de conflit cognitif : la tension constitue l'accès privilégié à l'intelligence d'un problème.

Guy RUMELHARD
Lycée Condorcet, Paris
Unité "Didactique des sciences
expérimentales", INRP

ANNEXE

QUELQUES DATES EN DIDACTIQUE DES SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

1955

Georges Canguilhem succède à Gaston Bachelard à la Sorbonne et à l'Institut d'Histoire des Sciences. Il encourage la thèse – demeurée inachevée – de V. Host, la publication du travail de J. Ulmann, puis la thèse d' A. Giordan. De même de nombreux historiens des sciences seront les premiers et longtemps les seuls à encourager l'émergence de la didactique des SVT.

1967

Les Sciences de l'Éducation prennent pied à l'université et accueilleront les didacticiens rejetés par les spécialistes des disciplines.

1969

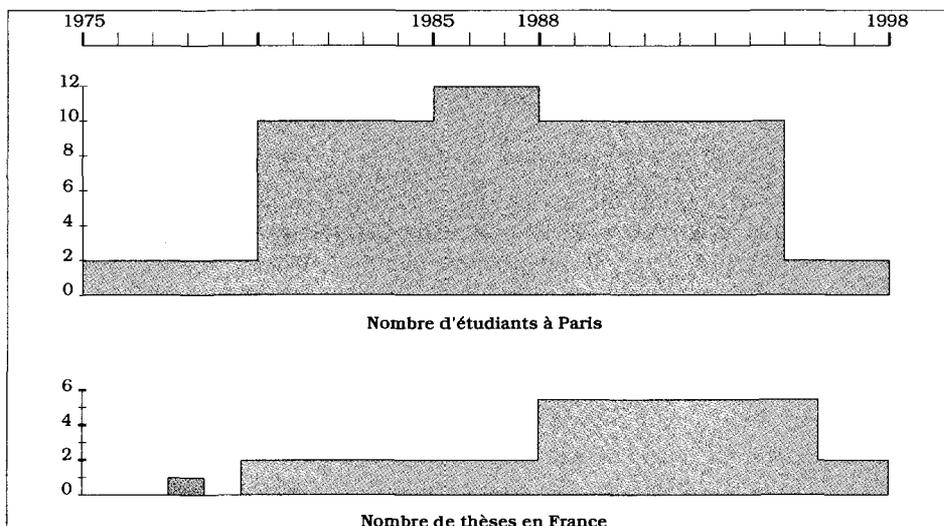
Création à l'IPN de la section "sciences" animée par V. Host.

1975

Ouverture dans le DEA de didactique de l'Université Paris 7, Denis Diderot, d'une option didactique de la biologie, de l'éducation à l'environnement puis de la géologie.

1985

Création à l'INRP sous forme d'une publication régulière de la revue *Aster*.



Le nombre des étudiants du DEA se maintient entre 10 et 12 à partir de 1979 jusqu'au transfert de l'option à l'ENS de Cachan.

Avec un décalage normal de 9 ans et un rendement de 50 % le nombre des thèses soutenues se maintient à 6 par an en moyenne pour la France, à partir de 1988.

LA BIOLOGIE ET SA DIDACTIQUE, DIX ANS DE RECHERCHE

Pierre Clément

Ce texte présente un double bilan sur dix ans de recherches en didactique de la biologie s.l. (biologie, géologie, environnement, santé...).

Dans un premier temps, il catégorise ces recherches (à partir principalement des thèses et mémoires de DEA réalisés à Lyon 1 et en partie à Grenoble 1). Il en présente les méthodes et les nouveaux résultats acquis ces dix dernières années, en les regroupant en trois types : l'identification de conceptions et obstacles ; l'analyse de situations didactiques et des processus d'apprentissage ; l'analyse de la transposition didactique (externe et interne).

Dans un second temps, il explore les spécificités de la biologie pour les mettre en relation avec certaines spécificités des recherches en didactique de la biologie : conséquences du renouvellement rapide des connaissances biologiques ; difficulté de trouver un consensus sur ce qu'est la vie et sa complexité, et essai de la définir comme un système ouvert, auto-organisé, finalisé et ayant la capacité de se reproduire ; diversité des méthodes d'étude du vivant (observation-catégorisation, expérimentation, modélisation) ; discussion de la prise en compte des enjeux économiques, mais aussi éthiques et citoyens.

Chaque fois sont analysés les corrélats éducatifs de ces questions, et sont présentés des travaux de recherche effectués (ou qui restent à effectuer) en didactique de la biologie.

différentes
associations...

Pour coordonner les recherches et formations doctorales francophones en didactique de la biologie s.l (1), un réseau francophone de didactique de la biologie a été créé en 1987 (2). En 1990, lors de sa réunion à Lyon, il est devenu l'Association Européenne de Didactique de la Biologie (AEDB) (3).

- (1) La "biologie s.l. (*sensu largo*)" désignera dans ce texte un ensemble de champs traditionnellement pris en charge, dans le Secondaire, par les enseignants de biologie : biologie, géologie, environnement, santé...
- (2) Ce réseau s'est réuni une à deux fois par an (1987 : Lyon, Dijon ; 1988 : Louvain-la-Neuve, Angers ; 1989 Paris-INRP ; 1990 : Lyon).
- (3) J'ai assuré sa présidence depuis 1990. L'AEDB s'est réunie chaque année (1990 : Genève ; 1991 : Rome ; 1992 : Cordoba ; 1993 : Barcelone ; 1994 : Chamonix avec l'IUBS ; 1995 : Montpellier ; 1996 : Kiel avec ERIDOB'96). Ces travaux ont été à l'origine de plusieurs publications, notamment quatre numéros du bulletin de l'AEDB (*Bulle de Bio*, sous la responsabilité de : Clément, 1991 et 1992 ; de Bueger-Vander Borgh, 1993 ; Favre, 1995), et trois ouvrages (sous la responsabilité de Giordan, Girault et Clément, 1994 ; Cañal de León, 1996 ; Giordan et Girault, 1996) ; les Actes de Kiel ont aussi été à l'origine d'un ouvrage (Bayerhuber et Brinkman, 1998).

Très récemment, l'AEDB s'est fondue d'une part au niveau européen dans de nouvelles structures anglophones (ERIDOB et ESERA) (4), d'autre part au niveau français (incluant les pays francophones voisins) dans une nouvelle Association, l'ARDIST (5).

La période actuelle marque donc un tournant, justifiant un bilan d'étape. C'est aussi au cours de ces dix dernières années que se sont multipliés en France des lieux de recherche en didactique de la biologie, dans des structures institutionnelles diverses qui souvent s'enchevêtrent :

- Les universités, où des recherches en didactique de la biologie s'effectuent dans le cadre de DEA soit de didactique des sciences, soit (plus ponctuellement) de sciences de l'éducation ou de muséologie (6). Les étudiants sont souvent des enseignants ou autres formateurs, mais peuvent aussi venir de maîtrises scientifiques. Durant ces dix dernières années, plusieurs d'entre eux ont été recrutés comme maîtres de conférences de didactique de la biologie, pour la plupart dans des IUFM.

...et différents lieux de recherche en didactique de la biologie

- Les Instituts Universitaires de Formation des Maîtres (IUFM), ou leurs équivalents tels que, dans le milieu agricole, l'ENESAD de Dijon et l'ENFA de Toulouse, sont des lieux où commencent à exister, et où devraient se développer dans les années qui viennent, des équipes de recherche en didactique de la biologie, souvent en liaison avec une équipe universitaire et/ou avec l'INRP. Leurs formateurs, quand ils ne sont pas universitaires, ont malheureusement peu de temps disponible pour la recherche...

- Sur les lieux de travail (enseignement primaire, secondaire, musées, etc.) travaillent aussi des équipes de recherche, ou de recherche-action, parfois de façon autonome, parfois en liaison avec une équipe universitaire et/ou un IUFM, souvent dans le cadre d'actions animées par l'INRP. L'équipe de didactique des sciences expérimentales de l'INRP a ainsi joué un rôle essentiel dans le développement de la didactique de la biologie (7).

Ces trois types d'enracinement institutionnel, malgré leurs interactions, conditionnent bien sûr des points de vue différents (et complémentaires) sur la recherche en didactique de la biologie, et il est donc logique qu'ils soient représentés par trois articles dans ce numéro d'Aster.

-
- (4) ERIDOB = European Research In Didactics Of Biology : Meetings à Kiel en 1996, Göteborg en 1998, et Santiago de Compostelle en 2000. C'est désormais un réseau d'ESERA (European Science Education Research Association), association créée en 1995 à Leeds et qui organise un Meeting tous les 2 ans (1997 à Rome, 1999 à Kiel) et une Summerschool également tous les 2 ans (1996 à Barcelone, 1998 à Marly-le-Roi; en 2000, ce sera au Danemark).
 - (5) ARDIST = Association pour la Recherche en Didactique des Sciences et des Techniques, créée en juin 1998.
 - (6) Tel que le DEA de Muséologie des Sciences de la Nature et de l'Homme, au Museum National d'Histoire Naturelle.
 - (7) Mais l'INRP n'a malheureusement pas encore ouvert un poste universitaire en didactique de la biologie.

un bilan en
deux parties

Le bilan qui suit est structuré en deux parties :

- En tant que responsable de l'équipe de recherche en didactique de la biologie à l'université Claude Bernard-Lyon 1, au sein du Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique des Sciences, depuis la création en 1986 du DEA de didactique des disciplines scientifiques commun aux universités Lyon 1 et Grenoble 1, je présenterai d'abord un bilan succinct des recherches de didactique de la biologie *s.l.* effectuées dans ce cadre durant ces dix dernières années, en proposant de les regrouper en trois catégories qui me semblent pertinentes pour toute recherche en didactique des sciences.

- En tant que chercheur en biologie converti progressivement, sur la fin de ma carrière, à la didactique de la biologie, je développerai ensuite une approche plus générale sur les spécificités des recherches en didactique de la biologie conditionnées par les spécificités de la biologie.

J'espère ainsi illustrer que la didactique de chaque discipline est aussi originale que la discipline à laquelle elle s'intéresse, tout en présentant des points communs avec la didactique d'autres disciplines.

1. UNE CATÉGORISATION POSSIBLE EN TROIS TYPES DE RECHERCHES

1.1. Un préalable nécessaire pour ces trois types de recherche : une approche historique et épistémologique de la biologie

les références
précieuses
des philosophes
de la biologie

Toute recherche en didactique de la biologie est centrée sur des contenus et démarches biologiques précis : elle doit donc commencer obligatoirement par les préciser, les clarifier, les cerner, le plus souvent possible par une approche préalable historique et épistémologique. Les travaux de philosophes de la biologie sont à cet égard des références précieuses (depuis les études incontournables de Canguilhem, 1965, 1966, 1970, 1977, jusqu'aux récents essais d'I. Stengers, 1987, 1997) (8), ainsi que les synthèses réalisées par des biologistes (leur liste est plus longue encore) (9). Malgré leur nombre, ces références sont loin de couvrir tous les champs de la biologie, et les chercheurs en didactique de la biologie ont souvent été amenés à entreprendre eux-mêmes des recherches ou synthèses historiques sur divers concepts biologiques (par exemple sous la

-
- (8) En passant par des synthèses comme celle de Taton 1961, ou par des ouvrages plus spécialisés tels que ceux de C. Debru, 1983, pour la biochimie ; A.-M. Moulin, 1991 pour l'immunologie ; les ouvrages de P. Tort, notamment sa somme de 1996 sur le Darwinisme et l'Evolution ; P. Thuillier, 1981, sur la sociobiologie ; Acot, 1988, Deléage, 1991, et J.-M. Drouin, 1991, sur l'histoire de l'écologie ; les nombreux ouvrages de F. Dagognet, etc.
- (9) Avec, parmi bien d'autres, les ouvrages de Grassé, Watson, Monod, F. Jacob, J. Ruffié, S.J. Gould, Atlan, Maturana et Varela, J. Stewart, ou encore Changeux, Jeannerod et d'autres pour le cerveau, R. Campan, J. Gervet et A. Gallo pour les comportements animaux, etc.

les didacticiens
eux-mêmes
se plongent
dans l'histoire et
l'épistémologie

direction d'A. Giordan, 1987), sur différents scientifiques (par exemple Cantor, 1992), ou encore sur l'histoire de la diffusion des sciences (Raichvarg et Jacques, 1991). Plusieurs thèses de didactique de la biologie contiennent ainsi une approche historico-épistémologique très solide (par exemple Casonato, 1992, à Paris, sur la biologie moléculaire; Darley, 1994, à Grenoble sur la démarche expérimentale, Abrougui, 1997, à Lyon sur la génétique). Mais je ne classerai pas ces travaux comme une des trois catégories de recherche en didactique de la biologie, car ils ne sont que des préalables nécessaires aux recherches qui seront recensées dans chacune de ces trois catégories. En se focalisant sur des contenus disciplinaires précis, et sur les démarches qui fondent leur scientificité, la didactique et l'épistémologie convergent souvent, et une clarté épistémologique est un préalable nécessaire aux approches didactiques qui vont être présentées.

Ce premier bilan n'a aucune ambition d'exhaustivité, et il s'appuie surtout sur les recherches que je connais le mieux, notamment celles qui ont été effectuées dans le cadre du DEA Lyon 1 – Grenoble 1 depuis 1986 (10).

1.2. Catégorie A : analyse des conceptions et des obstacles aux apprentissages

une approche
classique...

C'est l'approche la plus classique dans les recherches de didactique de la biologie. Dès 1988, Giordan et Martinand recensaient déjà près de 300 travaux sur les conceptions des apprenants (et ils en oubliaient certains !). Au départ, il s'agissait surtout, dans une perspective constructiviste, de découvrir l'existence de ces conceptions, d'en établir le catalogue et de constater qu'elles persistaient même après l'enseignement : ce qui constituait une critique de fond de la pédagogie traditionnelle (Giordan et De Vecchi, 1987).

...qui s'est
renouvelée

Progressivement, l'identification des conceptions s'est intégrée à d'autres questions de recherche, avec des avancées significatives des recherches de ces dix dernières années. Avancées que je regroupe en quatre points.

• L'identification d'obstacles

Elle est nécessaire pour ensuite définir des stratégies pédagogiques qui prennent ces obstacles au sérieux, à la fois dans la formulation des objectifs d'enseignement ou de formation (catégorie C) et dans la mise en jeu de situations d'enseignement (catégorie B). Cette perspective avait été définie il y a plus de 10 ans, notamment par les travaux d'Astolfi et de

(10) Thèses du DEA de didactique des disciplines scientifiques jusqu'ici soutenues dans les Universités Lyon 1 et Grenoble 1, et mémoires de DEA soutenus à l'Université Lyon 1 (et à l'Université Grenoble 1 quand je les ai encadrés ou co-encadrés) : soit 46 mémoires au total durant ces 12 dernières années : 10 thèses et 36 mémoires de DEA. Les 10 thèses sont citées dans les références bibliographiques en fin d'article. Les 36 mémoires sont présentés dans l'annexe qui suit, leur référence dans le texte est indiquée par un * suivant le nom de l'auteur.

des travaux pionniers sur obstacles et objectifs-obstacles...

l'équipe Aster (1985) qui finalisaient l'étude des représentations par l'identification de leur noyau dur : les obstacles. Obstacles épistémologiques reprenant des phases historiques de la construction de connaissances, et que Giordan par exemple avait mis en évidence à propos du préformisme (résultats repris notamment dans Giordan et De Vecchi, 1987). Et Martinand avait ensuite (1986) défini la notion d'objectifs-obstacles pour insister sur leur nécessaire prise en compte dans des stratégies didactiques.

...aux travaux plus récents

Ces dix dernières années ont permis de mieux conceptualiser la diversité des obstacles, avec trois types de clarifications.

- L'idée de nœud d'obstacles

absence de conceptualisation en termes de processus chimiques

Le nœud d'obstacle a été défini par Astolfi et Peterfalvi (1993) comme explicatif de plusieurs conceptions : ils prennent l'exemple de l'absence de conceptualisation en termes de processus chimiques, nécessitant de l'énergie, qui est commune à la conception de double tuyauterie digestive, l'une pour les liquides, l'autre pour les solides (Sauvageot, 1991, 1993 ; Clément, 1991) ; à la conception de la respiration comme seule ventilation, ou de la photosynthèse comme "respiration à l'envers", ou encore à la conception de chaînes alimentaires par simple décomposition mécanique.

une paroi peut à la fois limiter et être perméable

J'avais également mis en évidence un obstacle commun à la digestion (avec la conception fréquente d'un tuyau continu intestin-vessie : Clément et al., 1981, Clément, 1991) et à la cellule (avec sa "double membrane" périphérique : Clément et al., 1983, Clément, 1988a & b) : la difficulté de concevoir qu'une paroi peut à la fois limiter et être perméable. Or aussi bien les membranes cellulaires que les parois des capillaires sanguins, des alvéoles pulmonaires, de l'intestin et des tubes du néphron sont de ce type : il y a bien là aussi un nœud d'obstacles.

- Les trois facettes d'un obstacle : épistémologique, didactique, psychologique

exemple d'obstacle psychologique

L'exemple qui précède l'illustre bien : la perméabilité membranaire, ou des parois digestives, circulatoires, respiratoires, excrétrices dans un organisme, est d'abord un obstacle épistémologique : c'est une connaissance à acquérir. Mais elle a aussi une composante psychologique, qui a été mise en évidence par le psychologue avec lequel nous avons travaillé (Clément et al., 1981, 1983) : le "moi peau" qui protège et rend difficile la conceptualisation de la perméabilité d'une barrière protectrice. La dimension psychologique des représentations a clairement été mise en évidence par les travaux de Rumelhard (1986) sur la génétique et le rapport de chacun à sa propre identité, à ses pathologies... Nous avons retrouvé ces aspects dans nos travaux sur l'imagerie médicale (Clément, 1996b).

Enfin, la conception "tuyauterie continue digestion-excrétion" est aussi une conséquence de la façon très cloisonnée dont les connaissances sur la digestion, la circulation et l'excrétion ont été enseignées, avec de surcroît, dès le Primaire,

exemples
d'obstacles
didactiques

une erreur sur le trajet des "aliments" : "depuis la bouche jusqu'à l'anus" La représentation de la cellule en deux ronds concentriques (en "œuf au plat") illustre un autre obstacle didactique quand elle s'oppose ensuite à l'acquisition de connaissances sur la différenciation cellulaire, par exemple en neurones (Clément, 1988a, 1988b) : la première conception présentée à un élève reste toujours durablement gravée en lui, et il est par exemple difficile de lui faire remplacer les câbles de l'arc réflexe par des neurones, le support cellulaire de l'arc réflexe étant même parfois représenté par un chapelet de cellules rondes.

En résumé, selon l'obstacle, l'une des trois facettes (épistémologique, psychologique, didactique) peut être dominante ; mais le même obstacle peut parfois être vu sous chacun de ces trois éclairages.

- Les croyances et opinions sont des obstacles plus résistants que les lacunes de connaissance scientifique

Les représentations sociales (Moscovici, 1961, 1984), les convictions, croyances, idéologies (selon la définition qu'en donne Canguilhem, 1977, reprise par Rumelhard, 1986) sont des facettes des conceptions (Clément, 1994a) qui résistent beaucoup plus durablement que les lacunes de connaissances. Simonneaux (1995) l'a montré dans sa recherche sur les conceptions relatives aux biotechnologies de la reproduction bovine, et nous l'avons également montré dans nos travaux sur les conceptions relatives aux relations entre le cerveau et les comportements ou façons de pensée, avec notamment la ténacité du dualisme cartésien (Clément, 1994b, 1998b ; Cottancin*, 1998 ; Clément et al., 1998). À l'idée de nœud d'obstacles se superpose donc l'idée d'un enracinement multiple de ces obstacles, chaque type d'enracinement renvoyant à des stratégies pédagogiques différentes. Celles-ci sont loin d'en être simplifiées : une opinion, conviction, croyance peut à la fois s'enraciner aussi dans des lacunes de connaissances scientifiques, et freiner ou bloquer l'acquisition de ces connaissances.

interactions entre
opinions et déficit
de connaissances
scientifiques

les opinions
renvoient à des
systèmes de
valeur

Les opinions sont souvent difficiles à caractériser, car elles renvoient à des systèmes de valeurs. Cette dimension est particulièrement importante dans l'éducation à l'environnement (Giordan et Souchon, 1991 ; Clément, 1996a) et nous avons parfois utilisé, pour les catégoriser, les mondes de valeurs définis par deux sociologues (Boltanski et Thévenot, 1991) : aussi bien à propos des biotechnologies (Simonneaux, 1995) que pour l'environnement (Hovart*, 1998).

• L'étude du changement conceptuel

l'évolution des
conceptions
pour évaluer
l'efficacité
d'une situation

Les conceptions sont de plus en plus utilisées comme indicateurs de l'efficacité d'une situation d'apprentissage. Elles sont étudiées avant et après la situation d'apprentissage, par la méthode du pré-test/post-test (par exemple : Ndiaye*, 1990 ; Vuala*, 1991 ; Paccaud*, 1988 ; Faucon*, 1995 ; Simonneaux,

1995; Abrougui et Clément, 1996...). Ce type de recherche nécessite de prendre des précautions méthodologiques, car la situation de questionnement en pré-test peut provoquer à elle seule une évolution des conceptions : une situation témoin est donc nécessaire (Faucon*, 1995; Abrougui et Clément, 1996), ou une analyse contrastive suffisamment contrôlée (Ndiaye, 1990; Simonneaux, 1995). Dans les autres cas, l'analyse est plus qualitative et n'est que le complément d'une observation précise de la situation d'apprentissage (cf. plus bas : 1.3.).

Les résultats concernant les changements conceptuels seront aussi abordés avec les études des situations d'apprentissage, mais nous avons signalé plus haut que les opinions changent beaucoup plus difficilement que les connaissances biologiques.

• L'étude de la variabilité des conceptions en fonction des situations dans lesquelles elles s'expriment

Ce résultat a été confirmé à de multiples reprises durant ces dernières années. Par exemple (Clément, 1991, 1994a), les étudiants de biologie (1^{re} ou 2^e année universitaire) qui, pour la moitié d'entre eux dessinent un intestin qui débouche dans la vessie quand on leur demande où va le litre de bière ingéré avant qu'ils aillent uriner, dessinent tous un tube digestif correct, où l'intestin se termine par l'anus, quand on leur demande de dessiner l'anatomie du tube digestif : les deux types de questions ne mobilisent pas les mêmes conceptions, qui sont potentiellement présentes, mais sans interactions entre elles. Il s'agit de "conceptions conjoncturelles" (Clément, 1994a), ou "situated conceptions" (Clément, 1998b). De la même façon, des enseignants n'exprimeront pas les mêmes conceptions de l'environnement selon qu'on leur demande de faire un dessin, ou trois phrases contenant le mot environnement, ou d'associer librement des termes au mot environnement (Clément, 1996a). Il en est de même pour le cerveau (Clément, 1998b).

les conceptions conjecturelles...

...que l'apprenant doit confronter pour les restructurer

Cette juxtaposition, chez un même individu, de conceptions souvent contradictoires et par trop étanches entre elles a conduit à l'idée que l'apprentissage doit avoir comme fonction de permettre à l'apprenant de les confronter, afin qu'elles se restructurent, se réorganisent avec une nouvelle cohérence qui permettra la mobilisation de conceptions plus scientifiques dès qu'elles sont pertinentes par rapport au problème à résoudre. Giordan (1994) a décrit des conditions de cette restructuration qu'il dénomme métaphoriquement "modèle allostérique de l'apprentissage".

• L'étude des conceptions d'autres acteurs que les apprenants

Cette tendance s'est fortement accentuée ces dernières années. Pour prendre un exemple, parmi les 46 thèses et

des corrélations
entre les
conceptions/
opinions
d'enseignants
et d'élèves

mémoires réalisés à Lyon 1 (voir note 10), 26 analysent des conceptions, et parmi elles, 9 seulement concernent les conceptions d'élèves ou étudiants; 10 analysent les conceptions d'enseignants, 4 celles de publics (potentiels) d'expositions scientifiques, 4 celles de chercheurs, et 5 celles d'autres acteurs (concepteurs, gestionnaires...) (11). Les résultats concernant les enseignants et futurs enseignants (en stage à l'IUFM) ressemblent souvent à ce qui peut être mis en évidence chez des apprenants, notamment dès qu'il s'agit d'interactions entre les connaissances et des opinions ou systèmes de valeur. Des corrélations ont été mises en évidence entre les conceptions/opinions d'enseignants et celles de leurs élèves (Abrougui, 1997). Les chercheurs eux-mêmes, dès qu'il s'agit de problèmes de biologie à forts enjeux sociaux, témoignent souvent de positions qui dépassent le cadre strict de leurs résultats scientifiques : en génétique et biotechnologies (Clément et al., 1980; Aouar, 1995; Simonneaux, 1995; Abrougui, 1997), en neurobiologie (Clément, 1993b, 1997), sur les questions d'écologie et d'environnement (Roger et Guéry, 1991; Clément, 1996a; Cheikho*, 1998)

1.3. Catégorie B : analyse des situations didactiques : situations et processus d'apprentissage

Certains travaux commencent à tester la pertinence et les limites, en didactique de la biologie et de l'environnement, de la théorie des situations (Brousseau, 1986) qui sert de référence fréquente en didactique des mathématiques : mémoires d'Abrougui* (1994), de Faucon* (1995), de Guieu* (1996), ainsi qu'un de mes travaux (1998a). Mais l'analyse de situations didactiques effectuée dans les 17 travaux de thèses et mémoires (sur 46 effectués à Lyon 1) que je recense dans ce domaine relève le plus souvent de l'une des deux démarches suivantes :

surtout
deux types
d'analyses
des situations
didactiques

- soit l'analyse des démarches expérimentales et des situations d'observation ou de résolution de problème ;
- soit l'évaluation de l'efficacité de certains dispositifs de la situation didactique.

Dans les deux cas, la situation est observée (enregistrements audio, voire vidéo, qui sont transcrits puis analysés), et cette situation varie entre deux pôles : d'un côté les situations "naturelles" (situations qui auraient lieu telles quelles même s'il n'y avait pas eu de recherche); de l'autre les situations "d'ingénierie didactique" (totalement conçues pour la recherche : ce qui permet un meilleur contrôle des paramètres à tester); avec généralement une situation intermédiaire entre ces deux pôles.

l'efficacité d'un
dispositif
s'articule souvent
avec l'évolution
des conceptions

L'évaluation de l'efficacité de certains dispositifs s'articule souvent avec l'analyse de conceptions et obstacles (cf. plus haut), par pré-tests et post-tests (immédiats ou non), avec si

(11) Le total fait plus de 21 car plusieurs de ces travaux analysent les conceptions de différents acteurs.

possible une situation témoin et des répétitions dans divers contextes. Rares sont les travaux qui remplissent l'ensemble de ce cahier des charges, mais il y en a (par exemple la thèse de Ndiaye, 1990).

Le suivi d'élèves sur plusieurs années, après des enseignements expérimentaux de biologie, a été réalisé en Angleterre et en Suède, mais pas en France à ma connaissance.

Dans les 17 des 46 travaux recensés ici, l'efficacité de plusieurs situations d'enseignement a été testée : sortie sur le terrain, utilisation de documents vidéo bruts, de dessins animés, d'images, de jeux, de multimédias interactifs, de documents de vulgarisation, de l'utilisation en classe des conceptions des élèves (Paccaud*, 1988), mais aussi efficacité de certains dispositifs muséologiques. Les résultats de tous ces travaux ne peuvent être résumés ici. En voici certains :

- Lors des T.P. de biologie s.l., y compris les sorties sur le terrain (Guiu*, 1996), de nombreux enseignants restent inductivistes ("Vous n'avez qu'à observer!"), et maîtrisent mal l'idée qu'une observation pertinente doit être armée sur le plan théorique et méthodologique.

- Les innovations telles que l'utilisation de vidéos, de logiciels, de jeux... motivent effectivement les apprenants (élèves, étudiants, visiteurs de musées...), mais ne sont efficaces sur les apprentissages qu'à certaines conditions : par exemple uniquement quand les enseignants ne sont pas débutants pour des T.P. universitaires d'éthologie où des documents vidéo sont donnés à observer (Ndiaye, 1990) ; ou seulement quand la visite d'un dispositif muséologique est effectuée dans un contexte scolaire : et les changements conceptuels des élèves sont surtout importants si la visite est préparée puis commentée à l'école (Abrougui*, 1994 ; Ott*, 1994 ; Abrougui et Clément, 1996) ; etc.

- Émerge enfin l'idée déjà signalée plus haut à propos des obstacles, que des changements conceptuels sont plus faciles à obtenir chez les apprenants quand il s'agit d'acquisition de connaissances biologiques (malgré les difficultés relatives aux conceptions et obstacles), tandis que les opinions et systèmes de valeur s'avèrent beaucoup plus stables (Simonneaux, 1995 ; Cottancin*, 1998 ; Clément et al., 1998 ; Clément, 1998b) et sont particulièrement prégnants dans certains domaines tels que l'éducation à l'environnement (Clément, 1996a ; Hovart*, 1998).

des analyses
ont pu préciser
les conditions
d'efficacité
des situations
étudiées

1.4. Catégorie C : analyse de la transposition didactique

• Aspects méthodologiques

Le corpus analysé est soit constitué de textes préexistants, soit recueilli par entretiens (auprès de scientifiques et/ou d'autres acteurs de la démarche de transposition). Dans les

analyse
contrastive de
différents types
de documents

deux cas, un choix judicieux est un préalable nécessaire à la recherche. Seize des 46 travaux relèvent totalement ou en partie de cette démarche. La problématique est celle de la transposition didactique (plus théorisée jusqu'ici en didactique des mathématiques : Chevallard, 1989), et la méthode est l'analyse contrastive de différents types de documents : par exemple comparer des manuels scolaires de même niveau mais d'époques différentes (Perrier*, 1997 : 100 ans d'images anatomiques dans les manuels scolaires du Primaire), ou de divers pays (France et Liban : Hajjar-Harfouch*, 1994 ; France et Tunisie : Abrougui, 1997) ; ou encore comparer des documents largement diffusés à des documents de références ; ou encore comparer entre eux les discours de divers acteurs de la transposition (Triquet, 1993 ; Morrier*, 1994). Ces documents sont travaillés par différentes méthodes d'analyse de textes ou d'images empruntées aux sciences humaines et sociales (linguistique, sémiologie...) et qui servent ici d'instruments. Mais certaines méthodes originales, plus didactiques car centrées sur des contenus spécifiques, ont parfois été mises au point et utilisées (voir par exemple la thèse d'Abrougui, 1997, sur la génétique).

• La transposition externe : pourquoi et comment est choisi ce qui doit être enseigné (ou transmis par les médias, expositions...)?

la question des
références et
de leur légitimité

Les mécanismes de la transposition externe sont souvent plus faciles à analyser dans des situations ponctuelles d'éducation non formelle comme lors de la gestation d'une exposition ou d'un lieu muséal. Le nombre des acteurs y est plus réduit, et leurs interactions durent un temps plus limité, qui peut être soumis à analyse dans le cadre d'une recherche (par exemple : Triquet et Clément, 1990 ; Triquet, 1993 ; Morrier*, 1994 ; Bompis, 1995). Dans un cadre scolaire, les processus sont plus complexes à analyser. La rapide évolution des connaissances biologiques devrait favoriser des recherches sur la transposition externe, et je reviendrai plus longuement sur ce point dans la partie II de ce texte. Une question essentielle est celle des références et de leur légitimité (connaissances, valeurs, pratiques de référence), aussi bien pour l'éducation à l'environnement (Giordan et Souchon, 1991 ; Clément, 1996a ; Hovart*, 1998), que pour de nombreux secteurs de la biologie. Par exemple, pourquoi les gènes sauteurs (transposons), qui sont un des mécanismes essentiels de l'évolution, ne sont-ils toujours pas enseignés dans le Secondaire (Aouar, 1995) ? Pourquoi la plasticité cérébrale n'est-elle pas non plus enseignée dans le Secondaire (Cottancin*, 1998 ; Clément, 1998b) ? Comment expliquer l'évolution des programmes sur la génétique, avec une introduction qui ne fait plus référence à Mendel, mais aux images de chromosomes (Rumelhard, 1995 ; Abrougui, 1997) ? Comment l'évolution est-elle enseignée dans différents pays ? etc.

• La transposition interne : comment est appréhendé le savoir à enseigner ?

continuité
dans la chaîne
de transposition

dogmatisation

Une idée se confirme, déjà émise par Jacobi (1987) : contrairement aux ruptures mises en évidence par Chevallard lors de la transposition didactique de savoirs mathématiques (1985), il y a plutôt continuité dans la chaîne de transposition de connaissances biologiques : nombre d'illustrations et de métaphores, voire de prises de position, dans les manuels scolaires comme dans les documents de vulgarisation, sont déjà présentes ou décelables dans les publications scientifiques de référence (voir par exemple Clément, 1997).

Ce qui n'empêche pas le processus de dogmatisation du discours au fur et à mesure qu'il est simplifié, processus déjà analysé par Develay (1987), et qui appuie parfois certaines positions idéologiques : de façon claire dans des revues de vulgarisation (Clément, 1997), de façon plus subtile dans des manuels scolaires : Abrougui (1997) a ainsi mis en évidence des implicites héréditaristes qui émergent à l'insu des auteurs des manuels, à force d'insistance sur le déterminisme du phénotype par le génotype, et de non insistance sur les interactions entre le génome et son environnement, phénomènes peu enseignés car jugés trop complexes pour les élèves.

créations
didactiques

Le processus de transposition s'accompagne aussi d'importantes créations didactiques, synthèses claires ou trouvailles pédagogiques qui ne sont pas présentes dans les publications de référence (Clément, 1988a; Tétu*, 1989; Cabrita*, 1989 : pour la cellule; Clément, 1996b : pour l'imagerie biomédicale...).

2. SPÉCIFICITÉS DE LA DIDACTIQUE DE LA BIOLOGIE LIÉES AUX SPÉCIFICITÉS DE LA BIOLOGIE

2.1. Pourquoi cette entrée par la biologie ?

les problèmes
spécifiques
de la discipline
structurent sa
didactique

Dans le triangle didactique dont la magie berce les chercheurs en didactique depuis les années soixante-dix, le savoir est situé au sommet. Et l'objet même de la recherche en didactique d'une discipline scientifique telle que la biologie est d'étudier pourquoi et comment les connaissances et démarches de cette discipline peuvent être acquises puis mobilisées dans les situations où leur utilisation est pertinente. La didactique d'une discipline est structurée par les problèmes spécifiques de cette discipline, par les changements du rapport au monde qu'impliquent ses contenus et démarches. Ceux-ci peuvent donc être aussi le point de départ d'un bilan de recherches menées ces dix dernières années en didactique de la biologie, afin d'explorer en quoi les spécificités de la biologie correspondent (ou non) à des spécificités de ces recherches.

Entendons-nous bien, et précisons notre propos par une analogie. La spécificité d'un objet ou d'un terrain de recherche n'induit pas obligatoirement une spécificité des concepts et méthodes de cette recherche.

spécificités
des concepts
et méthodes de
la neurobiologie

Ainsi la neurobiologie étudie le système nerveux avec des concepts et méthodes d'autres champs de la biologie (cytologie, électrophysiologie, biologie moléculaire, etc.). Rares sont les approches totalement spécifiques à la neurobiologie, mais il y en a, depuis certaines imprégnations argentiques jusqu'à des modélisations neuromimétiques. Un bilan des recherches effectuées en neurobiologie présentera l'ensemble des travaux sur le système nerveux. Par exemple, l'imagerie cérébrale a quelques spécificités techniques et conceptuelles par rapport à l'imagerie digestive ou urinaire : mais l'essentiel est d'analyser en quoi elle renouvelle nos connaissances sur le cerveau.

spécificités
des concepts
et méthodes
de la didactique
de la biologie

Le paragraphe précédent pourrait être ré-écrit en remplaçant "neurobiologie" (*i.e.* biologie du système nerveux) par "didactique de la biologie". Les concepts et méthodes peuvent être communs à ceux d'autres champs de la didactique, tandis que certains d'entre eux peuvent être spécifiques à la didactique de la biologie : mais un bilan présentera l'ensemble. Par exemple, la transposition didactique de savoirs biologiques a quelques spécificités techniques et conceptuelles par rapport à la transposition didactique de savoirs mathématiques : mais l'essentiel est d'analyser en quoi elle renouvelle nos connaissances sur la transmission et l'appropriation de savoirs biologiques.

Une entrée par la biologie pourrait être essentiellement épistémologique, pour comparer l'épistémologie de différentes disciplines et explorer le statut épistémologique des champs qui sont à l'intersection entre différentes disciplines (la biochimie, la biophysique, les biomathématiques, la sociobiologie, la neuropsychologie, les sciences cognitives...), ou encore de secteurs largement pluridisciplinaires (sciences de l'environnement, de la santé, de l'agriculture, du sport...). Ces épistémologies comparées restent à entreprendre, et le présent travail n'a pas cette ambition. L'inévitable éclairage épistémologique induit par l'entrée choisie sera limité et focalisé sur l'introduction de problèmes et recherches relevant d'abord de la didactique de la biologie *s.l.*

2.2. Le renouvellement rapide des connaissances biologiques

• Le renouvellement des recherches et champs disciplinaires de la biologie

Canguilhem (1970) a analysé avec précision la jeunesse et la genèse des principales connaissances biologiques, notamment en physiologie, au cours principalement des deux derniers siècles. Or ces connaissances ne cessent pas de se

de la zoologie
et la botanique
aux biologies
cellulaire et
moléculaire
et à l'écologie

renouveler, et le dernier demi-siècle a vu une accélération de ce processus. Les intitulés des laboratoires de recherche en témoignent. Par exemple, dans les universités françaises ou au CNRS, c'est au cours de ces vingt dernières années que la zoologie ou la botanique ont disparu dans ces intitulés, qui désormais relèvent soit de la biologie cellulaire et moléculaire, soit de l'écologie (dans une perspective de plus en plus environnementale). Les techniques évoluent rapidement, mais aussi les paradigmes qui sous-tendent des recherches. Cette dynamique se répercute rapidement sur les enseignements universitaires par un jeu de concurrence focalisée sur la création de postes de chercheurs ou enseignants-chercheurs dans les secteurs en développement.

À ce jeu-là, la tendance réductionniste est souvent triomphante : en témoigne le développement spectaculaire des recherches sur le séquençage d'ADN, avec ses enjeux industriels. Mais les demandes sociales concernant la santé, l'environnement et l'agriculture rendent nécessaires quelques approches plus globales.

• Du renouvellement des recherches à celui des programmes scolaires : premières réflexions sur la transposition didactique externe

L'évolution des programmes scolaires fait aussi partie de ces stratégies de concurrences entre disciplines biologiques, mais inclut bien d'autres paramètres. À quelques exceptions près (Grosbois et al., 1992), c'est surtout aux dimensions pédagogiques que se sont d'abord intéressés les didacticiens de la biologie (V. Host, J.-P. Astolfi et l'équipe de l'INRP : voir la synthèse rédigée par Astolfi, 1989), en centrant leurs activités sur des recherches-actions et sur des propositions.

l'articulation
entre l'attente
des élèves,
la pression
des chercheurs
et celle des
enseignants

Plusieurs problématiques mériteraient d'être développées. Par exemple, comment s'articulent, dans les programmes :

- l'attente des élèves vis-à-vis d'une biologie située au niveau des organismes et de leurs comportements (le succès des films animaliers et autres documents de vulgarisation sur ces thèmes témoignent de ces attentes) ;
- la pression des chercheurs pour privilégier de plus en plus tôt les niveaux cellulaire et moléculaire ;
- la pression d'enseignants trop souvent mal à l'aise face à la complexité des réactions d'animaux vivants (ce que montre Pouget*, 1993) ?

Des recherches en didactique de la biologie portant sur des contenus biologiques précis, et analysant l'influence de ce que Chevallard (1985) a appelé la « noosphère » sur l'évolution des programmes scolaires et universitaires, restent relativement rares, alors qu'il s'agit d'un champ de questions particulièrement prometteur car ces évolutions sont à la fois profondes et contemporaines.

Quelques recherches ont cependant été tentées :

quelques
recherches
portant sur
la transposition
de contenus
biologiques
précis

- Dans sa thèse soutenue à Montpellier en 1997, C. Reynaud a travaillé sur un concept non stabilisé (les écosystèmes parasites) et sur la pertinence et la difficulté de sa reconnaissance dans des milieux de recherche et dans l'enseignement.

- A. Aouar (1995) a commencé à travailler sur les raisons qui font que les transposons (gènes sauteurs) ne sont toujours pas enseignés dans le Secondaire, alors qu'ils ont été découverts, avant la synthèse des protéines, par Barbara MacClintock qui en reçut plus tard le prix Nobel, et jouent un rôle dans l'évolution bien plus important que ce qui est encore enseigné dans le Secondaire (les remaniements nucléaires liés à la reproduction sexuée). Peut-être parce qu'il ne faut pas toucher à une certaine image de l'ADN, si bien mise en évidence dans la thèse de Casonato (1993).

- G. Rumelhard (1986, 1995) s'est interrogé sur l'évolution des enseignements de génétique dans le Secondaire, et notamment sur la disparition de l'introduction de la génétique par les lois de Mendel. Ce qui n'a pas été le cas en Tunisie (Abrougui, 1997), avec une explication qui pourrait être rattachée à une tradition musulmane plus ancrée dans la théorie que dans les images.

• Des connaissances qui se renouvellent rapidement peuvent-elles être enseignées dogmatiquement ?

La dogmatisation des connaissances lors de l'enseignement de la biologie a plusieurs fois été mise en évidence, depuis le travail de Develay, 1987. Favre et Rancoule (1993) ont mis au point un indice de dogmatisation, opposé à un indice de scientificité, à partir de plusieurs indicateurs langagiers, et l'ont fait ensuite fonctionner pour analyser plusieurs situations d'enseignement.

Face au développement incessant des connaissances en biologie, il est évidemment impossible de privilégier un enseignement encyclopédique à l'école ou à l'université, et il devient surtout nécessaire de former les élèves à se recycler eux-mêmes quand ils auront quitté l'école, en ayant une démarche critique par rapport au contenu des médias.

Plusieurs solutions pourraient aller dans ce sens :

- Faire acquérir aux élèves une culture scientifique ancrée sur l'histoire des connaissances, de façon à ce qu'ils comprennent que les "vérités" de la biologie sont toujours datées et provisoires, que celles d'hier ne sont plus celles d'aujourd'hui, qui ne seront pas celles de demain ; et que leur évolution est liée à celle des techniques, mais aussi au renouvellement des problématiques et des modes de conceptualisation. Les travaux d'épistémologues et historiens, mais aussi de didacticiens, servent ici de références (cf. plus haut : 1.1.). De nouveaux travaux de ce type seront nécessaires, ainsi que des recherches pour évaluer en quoi une introduction plus systématique d'une approche historique des

former les élèves
à se recycler

une culture
scientifique
ancrée sur
l'histoire des
connaissances...

connaissances, lorsqu'elle est enseignée, change le rapport des élèves à ces connaissances.

...sur la
démarche
du chercheur...

- Faire acquérir aux élèves une culture scientifique basée sur la pratique de démarches de recherche, afin qu'ils comprennent (et pratiquent) comment les connaissances sont acquises, et quelles sont les limites de leur validité. Ce point essentiel est repris plus bas.

...et sur
des concepts
transdisciplinaires

- Privilégier l'enseignement de notions transdisciplinaires, en formant les élèves plus à des démarches qu'à des contenus notionnels par trop encyclopédiques et périmables. Edgar Morin défendit obstinément cette perspective au cours des réflexions récentes sur les programmes des Lycées (1998), et nous y reviendrons avec les concepts structurants en biologie, dont certains dépassent largement le cadre de la biologie (concepts de régulation, de système...).

• *Le rôle essentiel des médias*

Une autre conséquence importante du renouvellement permanent des connaissances en biologie est le rôle nécessaire des médias. Les manuels scolaires ne se renouvellent pas assez vite pour coller à l'actualité, alors qu'un enseignant de biologie ne peut éluder des questions sur le clonage quand tous les médias titrent sur Dolly. Les médias (journaux, revues et livres scientifiques; TV, radio; multimédias et Internet; expositions et musées scientifiques) sont une source incontournable pour le recyclage en biologie, y compris pour les enseignants. Ce qui implique :

une pratique
critique
des médias

- La nécessité de former les futurs enseignants à une pratique critique des médias, en y incluant une approche didactique.

- La nécessité de familiariser les élèves à une utilisation critique des médias, par des liens entre école et musées, et par l'usage des documents (papier, informatique, vidéo) mis à la disposition des élèves par les enseignants ou les CDI. Le mémoire de Villarupla (1996) a ainsi montré que les élèves préféraient utiliser des articles de vulgarisation plutôt que des manuels scolaires pour préparer une exposition scolaire sur la tectonique des plaques. À cet égard, les médias ont souvent plusieurs longueurs d'avance sur les manuels et autres documents scolaires qui, malgré leurs efforts souvent notoires pour se renouveler et se moderniser (voir par exemple Clément, 1996b, pour une comparaison de la façon dont les manuels introduisent l'imagerie biomédicale), sont souvent ressentis par les élèves comme rébarbatifs et peu motivants.

développement
de travaux
en muséologie
des sciences

- La nécessité de développer des recherches de didactique de la biologie qui analysent ces différents médias. De tels travaux se sont surtout développés, ces dernières années, en muséologie des sciences (voir par exemple Clément, 1993a, ou l'ouvrage de Giordan, Guichard et Guichard, 1997), et restent balbutiants pour les autres médias : malgré quelques

travaux tels que l'ouvrage INRP de Mottet et al., 1996, sur le dessin animé "Il était une fois la vie", ou les travaux plus sémio-linguistiques de Jacobi, 1987, sur les textes et images de la vulgarisation scientifique.

• Répondre à la demande des enseignants face à des contenus nouveaux

utilité des recherches didactiques sur des champs de connaissances biologiques nouvelles

C'est une conséquence évidente du renouvellement rapide des connaissances biologiques : les enseignants sont demandeurs de stages de recyclage, et ceux-ci seront d'autant plus efficaces que des recherches en didactique de la biologie auront été effectuées sur ces thèmes nouveaux. Le numéro d'Aster coordonné par G. Rumelhard (1990) sur l'immunologie entre dans cette perspective, ainsi que l'ouvrage collectif qu'il a coordonné sur le concept de régulation en biologie (1994). Bien d'autres recherches collectives seraient à développer pour répondre à ce type de demande.

La mise à disposition des enseignants (et futurs enseignants) des résultats de recherches en didactique de la biologie-géologie répond aussi à ce type de demande, et plusieurs ouvrages récents ont commencé à y répondre : ouvrage coordonné par J. Deunff (1990) sur la didactique de la géologie à l'école élémentaire ; Demounen et Astolfi, 1996 ; Astolfi et al., 1997a, 1997b.

2.3. La complexité de la vie

les critères du vivant...

Les enfants ont souvent bien du mal à distinguer ce qui est vivant de ce qui ne l'est pas. Plusieurs travaux de didactique ont étudié leurs conceptions à ce propos (entre autres : Rolland et Marzin, 1996 ; le mémoire de C. Bardel, 1997). Ils considèrent souvent que tout ce qui bouge, ou tout ce qui ne dure qu'un temps (qui naît et meurt...) est vivant. Du bois ou une graine sont-ils vivants ? Et un moustique emprisonné depuis des siècles dans de la résine ne contient-il pas de l'ADN qui permettrait de le refaire exister ? Vivant ou mort, organique ou minéral, toute définition est affaire de critères...

...loin d'être consensuels chez les biologistes

Mais, aussi curieux que cela puisse paraître, ces critères définitoires sont loin d'être consensuels chez les biologistes. J. Stewart (1996) souligne que "La biologie au niveau de la recherche, se fait sans qu'il y ait une définition consensuelle, une définition théorique qui fasse un consensus dans la communauté des chercheurs, sur ce qu'est un organisme vivant."

Nous allons essayer de clarifier un peu cette complexité du vivant et des sciences de la vie.

• Une organisation systémique

Entre les holistes qui considèrent l'organisme vivant comme un tout insécable, et les réductionnistes purs pour qui les parties du tout contiennent à elles seules les propriétés du tout (l'idée d'un « programme » génétique s'apparente plutôt à

ce courant), la plupart des biologistes partagent plutôt une vision systémique du vivant, avec émergence, à chaque niveau d'organisation, de propriétés spécifiques à ce niveau et dont aucune des parties n'est capable à elle seule : c'est de l'interaction entre ces parties qu'émergent les propriétés.

Mais cette vision systémique se divise en plusieurs courants :

la vision pan-
systémique
de F. Jacob

- F. Jacob (1970) exprime une vision pan-systémique qui est dominante en biologie (en nous, et tout autour de nous, des systèmes !), avec une description en poupées russes emboîtées : les molécules dans les organites cellulaires, puis dans les cellules, les tissus et organes, les organismes, les populations et les écosystèmes, et enfin la biosphère : autant de niveaux d'études des différentes disciplines de la biologie, et, à chaque niveau, l'intégration des sous-unités désignées sous le terme général d'intégron. "*Les propriétés de l'intégron peuvent être expliquées par celles des constituants, mais pas en être déduites*", ce qui manifeste l'autonomie des propriétés qui émergent à chaque niveau d'organisation.

définition
plus stricte
des conditions
de validité
d'un modèle
systémique

- À la suite de Delattre (1971), Gervet et Théraulaz (1988) définissent de façon plus stricte des conditions de validité d'un modèle systémique, de façon à ce que cette modélisation puisse être implémentée. Ils constatent que l'ensemble de ces conditions ne sont actuellement réunies que dans deux cas : les réseaux neuronaux, et les groupements sociaux simples (tels que les sociétés d'insectes). Et les travaux de Théraulaz (1991, Théraulaz et Bonabeau 1995...) montrent bien une forte convergence entre les modélisations de type intelligence en essaim, et les comportements de guêpes : division du travail, ou construction régulière de nids, sans qu'aucune des guêpes n'en conçoive l'architecture : celle-ci émerge d'interactions entre activités individuelles élémentaires. Ce type de modélisation modifie en profondeur nos conceptions sur les propriétés du vivant ; il s'inscrit dans le courant de l'auto-organisation et de la complexité dont E. Morin (1990) est un des porte-parole, et il est théorisé aussi par Maturana et Varela (1980), et Varela (1989).

• Tentative de définition du vivant

quatre critères
du vivant...

Je résume ici les trois critères proposés par Stewart (1996), et j'en rajouterai un quatrième ; chacun de ces critères est aussi proposé par divers auteurs.

- Un organisme vivant est un système thermodynamique ouvert, traversé par un flux d'énergie.

- C'est un système auto-poïétique. Ce concept, dû à Maturana et Varela (1980) signifie, en simplifiant, un système qui s'auto-construit, s'auto-organise.

- Ce système a des fonctions, que F. Jacob compare à des causes finales pour souligner qu'il souhaiterait se passer de cette notion, mais n'y arrive pas.

- Enfin, il a la propriété de se reproduire quasiment à l'identique : cette immortalité potentielle initiale ne disparaît que

dans les cellules et organismes différenciés où elle ne subsiste que dans les gamètes.

Cette tentative de définition fait déjà appel à deux types de temporalités pour caractériser la vie même de l'organisme :

faisant appel
à deux types
de temporalité

- son ontogenèse/auto-construction, de sa naissance à sa mort (ou à sa division pour les organismes primitifs qui ne meurent pas, sauf cause environnementale, mais se multiplient tant qu'ils disposent de sources d'énergie autour d'eux) : critères 1 et 2 ;

- sa phylogenèse, qui passe par sa reproduction au fil des temps géologiques (critère 4), avec des successions de morts environnementales et de mutations qui permettent à l'organisme d'y échapper, et d'acquérir ainsi progressivement des adaptations, ces fonctions du critère 3.

d'autres
temporalités du
vivant existent

Mais, si cette articulation entre ontogenèse et phylogenèse structure bien une définition du vivant, les temporalités du vivant sont bien plus diverses. Les temps sensori-moteurs par exemple sont radicalement différents d'une espèce à l'autre, et même d'un individu à l'autre dès qu'ils sont capables d'apprendre et mémoriser : leurs mondes, dans leurs dimensions spatiales et temporelles, comme dans leur nature même (leurs *umwelts*) sont radicalement différents entre eux et de notre propre monde (Canguilhem, 1965 ; Clément et al., 1997 ; Stewart et al., 1997)

• Les concepts spécifiques de la biologie

la plupart
des concepts
caractéristiques
de la biologie
sont objets de
recherche en
didactique

L'objectif de ces tentatives de définition du vivant était de cerner les concepts qui semblent le caractériser, afin de voir s'ils sont enseignés et comment (voir aussi, dans la même perspective, Rumelhard, 1995). Les concepts de système, qui impliquent ceux de cycle et de régulation, ont été l'objet de recherches en didactique de la biologie (Rumelhard, 1988, 1992, 1994 ; thèse d'Haguenaer, 1991 ; thèse de Prévost, 1997...). Le concept d'énergie aussi, qui est souvent utilisé en biologie dans un sens plus large que dans les sciences physiques (Forestier, 1990).

Peu de recherches portent sur les différentes temporalités du vivant, en dehors de la problématique de l'évolution (Van Praët, 1989 ; Galangau-Quérat, 1990 ; Fortin, 1993 ; Bensaïd*, 1994) qui est également objet de recherches dans divers pays européens.

En revanche, les modèles de type auto-organisation ne semblent pas enseignés jusqu'au bac., et ne le sont qu'exceptionnellement à l'université : aucune recherche de didactique n'a porté sur ce point.

A contrario, les fonctions spécifiques du vivant (le fameux critère, ci-dessus, dû à F. Jacob) ont été l'objet de nombreuses recherches qu'il serait trop long de lister ici (digestion, excrétion, respiration, circulation, reproduction, photosynthèse, les fonctions du cerveau). D'autres notions typiquement biologiques ont été l'objet de recherches en didactique de la bio-

logie : les comportements, l'immunologie, la cellule, la génétique, les biotechnologies, l'écologie...

2.4. Comment étudier le vivant ? Les démarches de la biologie

La biologie est souvent considérée comme une science expérimentale. Mais toutes les connaissances biologiques ne sont pas obligatoirement fondées sur des expériences, notamment pour l'étude des écosystèmes et de la biosphère (à moins de considérer Tchernobyl ou la pollution industrielle comme des expérimentations...). Les démarches des recherches en biologie peuvent être regroupées en trois types.

• *Décrire et catégoriser*

- **À partir d'observations à l'œil nu.** Toute la systématique et l'usage des faunes et flores sont basés sur ce type simple d'observation à l'œil nu (parfois aidé d'une loupe de poche). La description et le suivi des écosystèmes commence aussi par ce niveau d'observations, aidé de techniques d'échantillonnage et de cartographie. C'est encore ce niveau d'observation, aidé de simples écoutes ou palpations, qui est aussi le premier stade de tout diagnostic médical ou vétérinaire. Les démarches mises en œuvre pour ces descriptions sont celles de la classification : définition de critères pertinents, de profils typiques, de catégories et de leurs relations...

base de la systématique et de bien d'autres catégorisations

- **À partir d'observations instrumentalisées :** dissections, coupes, imagerie biomédicale anatomique, biologie moléculaire, mais aussi les photographies par avion ou satellite pour les écosystèmes ou l'agriculture, obéissent aux mêmes logiques de description et de catégorisation. Mais elles nécessitent la maîtrise de ces instrumentations pour pouvoir interpréter les images (ou autres données) qu'elles fournissent, et être sûr que les données observées ne sont pas des artefacts introduits par l'instrumentation. Il n'y a pas de protocole expérimental, mais un protocole de recherche, basé sur des hypothèses, des techniques d'observation puis d'analyse des données.

la maîtrise de l'instrumentation est nécessaire

- **L'absence d'expérimentation ne signifie pas absence de références théoriques pour interpréter les données observées.** La systématique (taxonomie animale ou végétale) en est un bon exemple : les débats sont vifs entre courants de pensée où s'opposent cladistes et phénéticiens, ou encore les partisans d'une systématique phylogénétique (Tassy, 1986; Clément et Grim, 1998). Lamarck, puis Darwin ont émis des théories de l'évolution à partir de données descriptives de ce type, jusque-là interprétées dans un contexte créationniste. La description pure n'existe pas : elle ne s'inscrit dans une recherche que si elle est fortement armée théoriquement. Décrire une espèce animale nouvelle, ou un fossile qui corresponde à un chaînon évolutif jusqu'ici non connu, identifier des cellules pathologiques sur un prélèvement d'organe,

la description est fortement armée théoriquement

ou une tumeur cérébrale sur une tomographie IRM, ou encore lire une séquence d'ADN nécessitent la maîtrise de connaissances préalables très structurées.

- **Les démarches qui sous-tendent toute catégorisation** fondée sur des descriptions/interprétations ont surtout été étudiées jusqu'à présent dans le cadre de recherches relevant de la psychologie cognitive (voir par exemple Cordier et Denhière, 1990) : avec de grands débats sur la « naturalité » des catégories de couleurs, ou en prenant comme exemples de mammifères la vache et la baleine pour illustrer le concept de typicalité. Je ne connais comme recherche de didactique de la biologie ayant exploré ces dimensions pourtant fondamentales que celle de l'allemand Kattman, présentée au Meeting d'ERIDOB 98 à Göteborg.

des recherches
sur
l'interprétation
des images
utilisées en
biologie

En revanche, des recherches ont été menées sur l'interprétation des images utilisées pour ces recherches, dans une optique soit sémiologique (Bastide, 1985 ; Lynch et Woolgar, 1989) et, plus récemment, en didactique de la biologie à partir de l'imagerie biomédicale (Clément, 1996b, Clément et al., 1996 ; Gay et al., 1996 ; Clément et Fisseux, sous presse...). La problématique de ces recherches est de déterminer jusqu'à quel point il est nécessaire de maîtriser les techniques d'obtention de ces images pour pouvoir les interpréter. L'observation seule est aussi à la base de l'étude des comportements animaux, et la thèse de Ndiaye (1990) a analysé en détail les avantages et limites de l'observation de ces comportements à partir de documents vidéo plutôt que d'animaux vivants. Une partie de cette thèse a aussi étudié l'intérêt d'utiliser la vidéo comme aide pour des T.P. de dissection, ou encore des T.P. d'embryologie où des coupes sont observées au microscope.

• *Expérimenter*

l'expérimentation
sujet d'étude
essentiel
de la didactique
de la biologie

De nombreuses recherches de didactique de la biologie ont en revanche porté sur l'expérimentation, qui est à la base de nombreux T.P. de biologie. Depuis les travaux pionniers de Giordan (1978), Cauzinille et al. (1983), Astolfi (1984) jusqu'à la thèse de B. Darley (1994) et aux recherches en cours sur "La main à la pâte", coordonnées par l'INRP, ou encore dans le cadre du programme européen sur l'expérimentation dans les T.P.

Le modèle OHERIC a fait et fait encore référence en se basant sur une interprétation trop rapide des écrits de Claude Bernard. La contestation de ce modèle est devenue un classique de la didactique des sciences. J'ai moi-même proposé (1992) qu'il soit remplacé par THEORIC, pour marquer que la théorie et les hypothèses précèdent toujours une expérimentation et une observation.

Je ne développe pas ces recherches de didactique ici, qui sont par exemple résumées dans un des chapitres de l'ouvrage récent de Demounen et Astolfi (1996).

• **Modéliser**

Qu'il s'agisse de tester des modèles théoriques, ou d'en concevoir de nouveaux à partir de données empiriques, la modélisation joue un rôle croissant dans les recherches en biologie. Les représentations graphiques de type cladogramme ou analyse systémique sont légion, et des modèles sophistiqués de type auto-organisation, IAD, modèles neuromimétiques renouvellent en profondeur nos interprétations de phénomènes biologiques (voir par exemple Varela, 1989 ; Clément, 1994c).

la démarche de modélisation a aussi été souvent étudiée

Plusieurs recherches de didactique de la biologie ont étudié cette démarche de modélisation. La thèse de C. Haguenaue (1991) a porté sur le concept de cycle, dans un contexte d'écologie forestière, avec un historique très documenté sur ce concept. La thèse de C. Orange (1994) a étudié les démarches de modélisation lors de la résolution de problèmes de biologie-géologie par des élèves du Secondaire.

Rumelhard (1988) a recensé différentes situations d'apprentissages pour lesquelles le recours à la modélisation est important pour l'élève, et il a ensuite exploré plus en détail les situations de modélisation relatives au concept de régulation (Rumelhard, 1992, et l'ouvrage qu'il a coordonné en 1994).

En dehors de ses avantages incontestables, la modélisation pose le problème, pour les élèves comme pour les enseignants et les chercheurs, de l'isomorphie parfois postulée hâtivement entre les phénomènes étudiés et les phénomènes modélisés. Par exemple :

problème de l'isomorphie entre les phénomènes étudiés et les phénomènes modélisés

- Les modélisations graphiques de la molécule d'ADN, de la membrane cellulaire ou de la synthèse des protéines dans une cellule sont des constructions qui résultent de divers travaux de biologie moléculaire, mais qui sont souvent confondues avec des images figuratives réellement observées à travers un instrument (Clément, 1996c).

- Les modélisations d'IA (intelligence artificielle) atteignent des performances comparables aux originaux qu'elles simulent. Mais cela ne signifie pas qu'un robot fonctionne comme un être humain. L'exemple qui suit clarifie ce danger d'interprétation : un martin-pêcheur sait atteindre un poisson dans l'eau comme s'il calculait efficacement les lois de la réfraction de Snell. Un robot de martin-pêcheur peut faire de même si on implémente cette loi dans son fonctionnement. Mais il est évident que c'est le chercheur et sa modélisation qui maîtrisent cette loi, et non le martin-pêcheur !

2.5. Enjeux du développement des connaissances biologiques

Il y a une grande cohérence entre les enjeux du développement actuel de recherches en biologie, et les enjeux de son enseignement (ou de sa diffusion par des médias extra-sco-

lares). Je distinguerai deux types d'enjeux : économiques d'une part, pour une culture citoyenne de l'autre.

• Enjeux économiques

demande
de recherches
sur la santé,
l'agriculture, les
biotechnologies,
le sport,
l'environnement

La biologie a toujours été au cœur des recherches sur la santé (INSERM notamment) et sur l'agriculture (INRA notamment). Mais les enjeux industriels liés en particulier au développement des biotechnologies sont particulièrement prometteurs. Des investissements considérables se portent actuellement sur les programmes de recherche du séquençage du génome humain. À titre d'exemple, la firme américaine qui est leader mondial des équipements d'analyse de l'ADN affichait en 1997 un chiffre d'affaires de plus de 8,4 milliards de Francs (*Le Monde* du 3-6-98). D'autres pratiques sociales sont également demandeuses du développement de certaines recherches en biologie : le sport, la protection de l'environnement, la justice, etc.

À chacune de ces demandes économique-sociales correspondent :

- des financements de recherches mono- ou pluri-disciplinaires selon les cas, où la biologie est seule ou majoritairement concernée ;
- des pratiques sociales, avec des métiers spécifiques qui utilisent des savoirs biologiques, et qui impliquent donc des cursus de formation contenant des enseignements de biologie adaptés à ces métiers.

En France, les filières d'enseignement agricole dépendent du Ministère de l'Agriculture, et sont spécifiques depuis le Secondaire. Plusieurs recherches de didactique de la biologie se sont intéressées au monde agricole (entre autres les thèses de Marzin, 1993 ; Forestier, 1993 ; Simonneaux et Gay, 1995 ; Prévost, 1997...), et d'autres recherches sont en cours à l'ENESAD de Dijon, comme à l'ENFA de Toulouse.

la didactique
s'est plus
intéressée à
l'enseignement
agricole
qu'à la formation
à la santé

Les filières de formation à la santé ont en revanche moins été l'objet de recherches. Quelques didacticiens de la biologie ont participé à des programmes nationaux de recherche sur le sida (par exemple D. Motta 1998). Cependant, dans les facultés de médecine, qui dépendent du Ministère de l'Éducation Nationale, existent souvent des départements de pédagogie qui sont actifs dans le renouvellement des méthodes d'enseignement (production de documents vidéo, ouverture d'accès à Internet pour les étudiants...), mais qui ne travaillent que rarement dans des équipes de didactique : J. Guibal (Pharmacie, Montpellier) fait à cet égard exception ; elle a par exemple organisé en 1998 le colloque ADMES-AIPU sur l'utilisation pédagogique de jeux dans l'enseignement supérieur.

Les autres filières de formation qui comportent de la biologie enseignée dans une perspective professionnelle (métiers para-médicaux : infirmiers, kinésithérapeutes... ; psychologie ; sport ; etc.) ont peu été l'objet de recherches (avec de rares exceptions : la thèse de Ndiaye, 1990, était en grande partie

centrée sur des T.P. de psycho-physio. en licence de psychologie). Le champ de la recherche en didactique de la biologie mériterait donc de s'ouvrir plus sur les filières d'enseignement où la biologie est enseignée avec des visées de formation professionnelle.

• *Enjeux culturels et citoyens*

Mais les recherches en biologie se développent aussi avec le projet de répondre à des lacunes de connaissances fondamentales ; même si c'est de moins en moins car la plupart des recherches tendent à être finalisées.

la biologie
comme culture
de base

Quant aux enseignements de biologie dans les écoles, collèges et lycées, ils ont comme première vocation de développer une culture de base chez tous les enfants : sur leur corps, leur santé, leur environnement naturel, avec la volonté de développer aussi des comportements citoyens : d'hygiène corporelle, de protection de l'environnement...

Des recherches de didactique de la biologie sur ce projet de responsabilisation des enfants ont surtout été développées, ces dernières années, dans le secteur de l'éducation à l'environnement (cf. plus haut).

Mais d'autres dimensions éthiques méritent d'être soulignées, car elles sont largement associées à l'histoire de la biologie.

la fonction sociale
des discours
héréditaristes...

En effet, de façon récurrente au moins depuis le XIX^e siècle, la biologie est convoquée pour justifier des pratiques de ségrégation sociale. Phrénologie, physiognomonie, crâniologie... relayées récemment par des discours héréditaristes s'appuyant sur de prétendus déterminismes génétiques ont eu pour fonction sociale de développer le fatalisme face à des déterminismes biologiques dont on serait prisonniers. Le paroxysme a été atteint au début de notre siècle quand la biologie a été priée de justifier le racisme, l'antisémitisme, et l'eugénisme. Et des discours plus actuels sur de prétendus dons intellectuels dès la naissance, ou sur la soit-disant infériorité des femmes, s'apparentent encore à cette image de la biologie qu'il est difficile d'oublier. Certains de mes travaux (Clément, 1994b, 1997, 1998b, Clément et al., 1998) montrent la ténacité de cette perception de la biologie.

...doit être
cassée dans
une perspective
citoyenne

Éduquer à la biologie dans une perspective citoyenne devrait aussi avoir pour projet de casser cette image, et de dissocier désormais la biologie de ces dimensions idéologiques et éthiques. Taire ces dimensions reviendrait à renforcer cette représentation sociale tenace de déterminismes inéluctables ; d'autant plus que les médias œuvrent souvent dans ce sens, pour certains par conviction idéologique, pour d'autres à leur insu quand par exemple ils soutiennent un téléthon sur les maladies génétiques, dont l'effet est de renforcer cette image déterministe de la biologie.

Nous travaillons actuellement sur la place du cerveau et de ses performances intellectuelles (qui sont structurées pour

mais l'épigénèse
du cerveau et les
interactions entre
le génome et son
environnement
sont très peu
enseignées

la biologie n'a pas
à devenir scientifique

ne pas confondre
valeurs et
connaissances

l'essentiel par épigénèse) dans les enseignements de la biologie, et avons constaté que la notion même d'épigénèse n'est pas enseignée avant le bac. Abrougui (1997) a montré par ailleurs que les interactions entre le génome et son environnement étaient très peu enseignées, alors que le déterminisme génétique est un message que chaque élève retient. Les programmes scolaires devraient être plus attentifs à proposer des contenus de biologie qui participent plus à une formation citoyenne. Et certains médias pourraient dès à présent prendre en compte ce projet éducatif.

Aborder à l'école, à l'occasion des enseignements de biologie, des questions relatives au racisme, à l'eugénisme, au sexisme, etc. est donc nécessaire, mais cela ne signifie pas qu'il faille remplacer une biologie explicitement ou implicitement héréditariste par une biologie progressiste! Des arguments strictement biologiques peuvent certes parfois ébranler certaines conceptions caricaturales sur le racisme ou l'eugénisme. Mais la biologie n'a pas à devenir scientifique (reproduisant ainsi pour des causes meilleures ce qui lui a été reproché par exemple dans la collusion de certains biologistes ou médecins avec le nazisme). Les domaines des valeurs doivent être identifiés pour ce qu'ils sont, pour fonder l'éthique personnelle et collective. Plus les biologistes sauront identifier ce qui, chez eux, relève de discours scientifiques et ce qui relève de prises de position idéologiques ou éthiques, plus ils permettront aux enseignants de ne pas mélanger les genres : l'éducation scientifique doit aussi apprendre à reconnaître ses propres limites, et son articulation nécessaire avec des valeurs éthiques et citoyennes.

Pierre CLÉMENT
LIRDHIST
Université Claude Bernard – Lyon 1

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABROUGUI, M., CLÉMENT, P. (1996). Évolution des conceptions d'élèves de dix ans sur la génétique à la suite d'activités scolaires incluant une visite scolaire à la Cité des Enfants. *Didaskalia*, 8, 33-60.
- ABROUGUI, M. (1997). *La génétique humaine dans l'enseignement secondaire en France et en Tunisie. Approche didactique*. Thèse de doctorat, Université Lyon 1.
- ACOT, P. (1988). *Histoire de l'Écologie*. Paris : PUF.
- AOUAR, A. (1995). « Gènes sauteurs » et conceptions des chercheurs sur la Génétique et sur l'Évolution. In A., Giordan, J.-L., Martinand, et D., Raichvarg (éds.). *Actes des XVIIes JIES* (pp. 273-278). Paris : DIRES-Université Paris 7.
- ASTOLFI, J.-P. (1984). *Expérimenter : sur les chemins de l'explication scientifique*. Toulouse : Privat.
- ASTOLFI, J.-P. (éd.), (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris : INRP.
- ASTOLFI, J.-P. (1989). *Contribution à la caractérisation didactique des contenus d'enseignement en biologie*. Note de synthèse pour la thèse (sciences de l'éducation), Université Lyon 2.
- ASTOLFI, J.-P., PETERFALVI, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16, 103-141. Paris : INRP.
- ASTOLFI, J.-P., DAROT, É., GINSBURGER-VOGEL, Y., TOUSSAINT, J. (1997a). *Mots-clés de la didactique des sciences*. Paris & Bruxelles : De Boeck Université.
- ASTOLFI, J.-P., DAROT, É., GINSBURGER-VOGEL, Y., TOUSSAINT, J. (1997b). *Pratiques de formation en didactique des sciences*. Paris & Bruxelles : De Boeck Université.
- BASTIDE, F. (1985). L'iconographie des textes scientifiques : principes d'analyse. *Les vues de l'esprit. Culture technique*, 14.
- BAYERHUBER, H., BRINKMAN, F. (eds.) (1998). *What – Why – How? Research in Didaktik of Biology*. Kiel : IPN.
- BOLTANSKI, L., THÉVENOT, L. (1991). *De la justification. Les économies de la grandeur*. Paris : Gallimard.

BOMPIS-DARTOUT, A. (1995). *Genèse et fonctions pédagogiques du Musée de site des Pierres folles, dans la vallée de l'Azergues*. Thèse de doctorat, Université Lyon 1.

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

CAÑAL DE LEÓN, P. (éd.) (1996). L'éducation à l'Environnement. *Actes Rencontres européennes de Didactique de la Biologie à Cordoba*. Université de Séville, éd.

CANGUILHEM, G. (1965). *La connaissance de la vie*. Paris : J. Vrin, (2e édition revue et augmentée).

CANGUILHEM, G. (1966). *Le normal et le pathologique*. Paris : PUF.

CANGUILHEM, G. (1970). *Études d'Histoire et de Philosophie des Sciences*. Paris : J. Vrin.

CANGUILHEM, G. (1977). *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie*. Paris : J. Vrin.

CANTOR-COQUIDÉ, M. (1992). *Félix-Archimède Pouchet, savant et vulgarisateur*. Thèse de doctorat, Université Paris 11.

CASONATO, O. (1992). *Les obstacles, dans la recherche et dans l'enseignement, à la connaissance du support moléculaire de "l'information" génétique*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.

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

CHEVALLARD, Y. (1985). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée sauvage (ré-édition augmentée, 1989).

CLÉMENT, P., BLAES, N., BLAINEAU, S., DEBARD, E., JOURDAN, F., LUCIANI, A. (1981). *Biologie et Société : le matin des biologistes ?* Raison présente éd.

CLÉMENT, P. (1988a). Le concept de cellule : de la recherche à l'enseignement. *Actes du troisième séminaire francophone de didactique de la biologie*, Louvain-la-Neuve, nov. 1988.

CLÉMENT, P. (1988b). Les utilisations des images animées (films et vidéo) dans l'enseignement de la biologie. *Pédagogiques*, 8, 2, 443-460. Montréal.

CLÉMENT, P. (1991). Sur la persistance d'une conception : la tuyauterie continue digestion-excrétion. *Aster*, 13, 133-155. Paris : INRP.

CLÉMENT, P., SERVERIN, J.-L., LUCIANI, A. (1991). Quelle digestion des représentations initiales dans la pratique pédagogique ? *Pédagogiques*, 1, 3, 20-22. Montréal.

CLÉMENT, P. (1993a). La spécificité de la muséologie des sciences, et l'articulation nécessaire des recherches en muséologie et en didactique des sciences, notamment sur les publics et leurs représentations/conceptions. In *La Muséologie des Sciences et des Techniques* (pp. 128-167). Dijon : éd. OCIM.

CLÉMENT, P. (1993b). Conceptions sur le cerveau : santé et normalisation. In J.-Cl., Beaune (éd.). *La philosophie du remède* (pp. 154-174). Éd. Champ Vallon, coll. Milieux.

CLÉMENT, P., SERVERIN, J.-L., LUCIANI, A. (1993). Les représentations en biologie et les objectifs de la pédagogie : digérer ou régurgiter ? In A., Giordan, J.-L., Martinand et D., Raichvarg (éds.). *Actes des XVes JIES* (pp. 453-460). Paris : DIRES-Université Paris 7.

CLÉMENT, P. (1994a). Représentations, conceptions, connaissances. In Giordan, A., Girault, Y., Clément, P. (éds.). *Conceptions et connaissances* (pp. 15-45). Berne : Peter Lang.

CLÉMENT, P. (1994b). La difficile évolution des conceptions sur les rapports entre cerveau, idées et âme. In Giordan, A., Girault, Y., Clément, P. (éds.). *Conceptions et connaissances* (pp. 73-91). Berne : Peter Lang.

CLÉMENT, P. (1994c). De la régulation à l'auto-organisation. In G., Rumelhard (éd.). *La régulation en biologie. Approche didactique : représentation, conceptualisation, modélisation* (pp. 7-24). Paris : INRP

CLÉMENT, P. (1996a). Las ciencias naturales y la educacion : sobre que ambiente ? In *Memorias del Segundo Encuentro Internacional : Formacion de dinamizadores en educacion ambiental* (pp. 51-73). Santafe de Bogota, Colombia : ed. Ministerio de Educacion Nacional, Educacion Ambiental.

CLÉMENT, P. (1996b). L'imagerie biomédicale : définition d'une typologie et proposition d'activités pédagogiques. *Aster*, 22, 87-126. Paris : INRP.

CLÉMENT, P. (1996c). Une typologie des images scientifiques, illustrée par des images d'ADN. In A., Giordan, J.-L., Martinand, et D., Raichvarg (éds.). *Actes des XVIIIes JIES* (pp. 417-422). Paris : DIRES-Université Paris 7.

CLÉMENT, P., GAY, A., SABATIER, Ph. (1996). Images and learning : I – Didactics of biological and medical images. In A., Giordan & Y., Girault (éds.). *The new learning models; their consequences for the teaching of biology, health, environment education* (pp. 235-246). Nice : Z'éditions.

CLÉMENT, P. (1997). Cerveaux d'hommes et de femmes : l'idéologie était déjà dans la revue Nature. In A., Giordan, J.-L., Martinand, et D., Raichvarg (éds.). *Actes des XIXes JIES* (pp. 267-272). Paris : DIRES-Université Paris 7.

CLÉMENT, P., SHEPS, R., STEWART, J. (1997). Une interprétation biologique de l'interprétation. I – Umwelt et interprétation. In J.-M., Salanskis, F., Rastier, R., Sheps (éds.). *Herméneutique : textes, sciences* (pp. 209-232). Paris : PUF, coll. Philosophie d'aujourd'hui.

CLÉMENT, P. (1998). Situated conceptions : Theory and methodology. From the collection of data (on the brain) to the analyse of conceptions. In *Actes workshop ESERA, Marly-le-Roi, sept. 1998*.

CLÉMENT, P., COTTANCIN, D., FÈBVRE, V. (1998). Quelles conceptions sur les fondements biologiques de l'identité d'un être humain. In A., Giordan, J.-L., Martinand, et D., Raichvarg (éds.). *Actes des XXes JIES* (pp. 181-188). Paris : DIRES-Université Paris 7.

CLÉMENT, P., GRIM F. (1998). Jugements sur la taxonomie et projet de recherche sur son enseignement. In A., Giordan, J.-L., Martinand, et D., Raichvarg (éds.). *Actes des XXes JIES* (pp. 459-465). Paris : DIRES-Université Paris 7.

CLÉMENT, P., FISSEUX, C. (sous presse). Opacity of radiography, perplexity of teachers and pupils in primary school. In *Actes Meeting ESERA à Rome, sept. 1997*. Bruxelles : De Boeck.

CORDIER, F., DENHIÈRE, G. (1990). Les connaissances concernant les catégories naturelles. In Richard, J.-F., Bonnet, C., Ghiglione, R. *Traité de psychologie cognitive, tome II : Le traitement de l'information symbolique* (pp. 41-45). Paris : Dunod.

DARLEY, B. (1994). *L'enseignement de la démarche scientifique dans les travaux pratiques de biologie, analyses et propositions*. Thèse de doctorat, Université Grenoble I.

DEBRU, C. (1983). *L'esprit des protéines, Histoire et philosophie biochimiques*. Paris : Hermann.

DELATTRE, P. (1971). *Système, structure, fonction, évolution*. Paris : Maloine-Doin.

DELÉAGE, J.-P. (1991). *Une histoire de l'Écologie*. Paris : Éd. de la Découverte.

DEMOUNEN, R., ASTOLFI, J.-P. (1996). *Didactique des Sciences de la Vie et de la Terre*. Paris : Nathan Pédagogie.

DEUNFF, J. (éd.) (1990). *Contribution à la définition de modèles didactiques pour une approche de la Géologie à l'école élémentaire et dans la formation des maîtres*. Ministère de l'Éducation Nationale, de la Jeunesse et des Sports, Direction des Écoles, Paris.

DEVELAY, M. (1987). À propos de la transposition didactique en sciences biologiques. In G., Arzac, M., Develay, A., Tiberghien (éds.). *La transposition didactique en mathématiques, en physique, en biologie* (pp. 59-86). IREM et LIRDIS, Univ. Lyon 1.

DROUIN, J.-M. (1991). *L'écologie et son histoire*. Paris : éd. Flammarion, Champs.

FAVRE, D., RANCOULE, Y. (1993). Peut-on décontextualiser la démarche scientifique ? *Aster*, 16, 29-46. Paris : INRP.

FORESTIER, J. (1994). *Étude d'une innovation liée à l'utilisation d'un système-expert d'aide au diagnostic en formation initiale et continue dans l'enseignement agricole*. Thèse de doctorat, Université Lyon 1.

FORTIN, C. (1993). *L'évolution : du mot au concept. Étude épistémologique sur la construction des concepts évolutionnistes et les difficultés d'une transposition didactique*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.

GALANGAU-QUÉRAT, F. (1990). Les représentations de la théorie de l'Évolution. In A., Giordan, J.-L., Martinand, et D., Raichvarg (éds.). *Actes des XIIes JIES* (pp. 309-314). Paris : DIRES-Université Paris 7.

GAY, A. (1995). *Étude didactique de situations de construction collaborative de diagnostics d'élevage. Intérêt de didacticiels hypermédias pour la communication interprofessionnelle et l'opérationnalisation des savoirs théoriques*. Thèse de doctorat, Université Lyon 1.

GAY, A., CLÉMENT, P., SABATIER, Ph. (1996). Images and learning : II – Hypermedia within breeding diagnosis. In A. Giordan & Y. Girault (éds.). *The new learning models ; their consequences for the teaching of biology, health, environment education* (pp. 247-253). Nice : Z'éditions.

GERVET, J., THÉRAULAZ, G. (1988). Les systèmes biologiques existent-ils ? In Gervet, J. et Tête, E. (éds.). *Le tout et la partie* (pp. 41-56). Publ. Université de Provence.

- GIORDAN, A. (1978). *Une pédagogie des sciences expérimentales*. Paris : Le Centurion.
- GIORDAN, A. (éd.) (1987). *Histoire de la Biologie*, 2 tomes. Paris : Lavoisier.
- GIORDAN, A., DE VECCHI, G. (1987). *Les origines du savoir*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- GIORDAN, A., MARTINAND, J.-L. (1988). État des recherches sur les conceptions des apprenants à propos de la Biologie. *Annales de Didactique des Sciences*, 2, 11-63. Univ. Rouen
- GIORDAN, A., SOUCHON, C. (1991). *Une éducation à l'environnement*. Nice : Z'éditions.
- GIORDAN, A., GIRAULT, Y., CLÉMENT, P. (éds.) (1994). *Conceptions et connaissances*. Berne : Peter Lang.
- GIORDAN, A., GIRAULT, Y. (éds.) (1996). *The new learning models ; their consequences for the teaching of biology, health and environment*. Nice : Z'éditions.
- GIORDAN, A., GUICHARD, F., GUICHARD, J. (1997). *Des idées pour apprendre*. Nice : Z'éditions.
- GROSBOIS, M., RICCO, G., SIROTA, R. (1992). *Du laboratoire à la classe : le parcours du savoir. Étude de la transposition didactique du concept de respiration*. Paris : éd. ADAPT.
- HAGUENAUER, C. (1991). *Le concept de cycle, indicateur de la connaissance. Des sciences de la nature à l'écologie forestière*. Thèse de doctorat, Université Nancy 1.
- JACOB, F. (1970). *La logique du vivant*. Paris : Gallimard.
- JACOBI, D. (1987). *Images et discours de la vulgarisation scientifique*. Berne : Peter Lang.
- LYNCH, M., WOOLGAR, S. (1990). *Representation in scientific practice*. The MIT Press.
- MARTINAND, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- MARZIN, P. (1993). *Approche didactique de la communication des savoirs dans une situation de conseil vétérinaire. Analyse des conceptions dans le dialogue*. Thèse de doctorat, Université Lyon 1.

- MATURANA, H., VARELA, F. (1980). *Autopoïesis and cognition : the realization of the living*. Boston : Reidel.
- MOSCOVICI, S. (1984). *Psychologie sociale*. Paris : PUF.
- MORIN, E. (1990). *Introduction à la pensée complexe*. Paris : ESF éd.
- MORIN, E. (1998). Éducation : réforme ou réformatrices. *Le Monde*, 18 juin 1998.
- MOTTA, D. (1998). Design and implementation of physical, scientific and artistic education curricula for secondary school A.I.D.S. education. In Bayrhuber, H. & Brinkman, F. (éds.). *What – Why – How ? Research in Didaktik of Biology. Proceedings of ERIDOB 96* (pp. 56-64). Kiel : IPN-materialen ed.
- MOTTET, G. (éd.) (1996). *De la vulgarisation aux activités scientifiques. Un dessin animé à l'école*. Paris : INRP.
- MOULIN, A.-M. (1991). *Le dernier langage de la médecine. Histoire de l'immunité de Pasteur au sida*. Paris : PUF.
- NDIAYE, V. (1990). *Évaluation de l'utilisation de la vidéo dans des Travaux Pratiques universitaires de Biologie*. Thèse de doctorat, Université Lyon 1.
- ORANGE, C. (1994). *Intérêt de la modélisation pour la définition de savoirs opérants en biologie-géologie*. Thèse de doctorat, Université Paris 7. Voir aussi l'ouvrage qui reprend cette thèse, publié aux PUF, 1997.
- PRÉVOST, Ph. (1997). *Le concept de régulation biologique et la formation professionnelle des agriculteurs. Études didactiques*. Thèse de doctorat, Université Lyon 1.
- RAICHVARG, D., JACQUES, J. (1991). *Savants et ignorants. Une histoire de la vulgarisation scientifique*. Paris : Le Seuil.
- REYNAUD, C. (1997). *Contribution à la formalisation et à la communication d'un concept d'écologie des milieux littoraux : les écosystèmes paraliques. Interprétation épistémologique et propositions didactiques*. Thèse de doctorat, Université Montpellier 2.
- ROGER, A., GUÉRY, F. (éds.) (1991). *Maîtres et protecteurs de la Nature*. Seyssel (01) : Champ Vallon, coll. Milieux.
- ROLLAND, A., MARZIN, P. (1996). Étude des critères du concept de vie chez les élèves de sixième. *Didaskalia*, 9, 57-82.

RUMELHARD, G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne : Peter Lang.

RUMELHARD, G. (1988). Statut et rôle des modèles dans le travail scientifique et dans l'enseignement de la biologie. *Aster*, 7, *Modèles et modélisation*, 21-48. Paris : INRP.

RUMELHARD, G. (coord.) (1990). *Aster*, 10, *L'immunologie, jeux de miroir*. Paris : INRP.

RUMELHARD, G. (1992). Un exemple de modélisation en biologie : les mécanismes de régulation. In J.-L. Martinand (éd.). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en science*. Paris : INRP-LIREST.

RUMELHARD, G. (éd.) (1994). *La régulation en biologie, approche didactique : représentation, conceptualisation, modélisation*. Paris : INRP.

RUMELHARD, G. (1995). De la biologie contemporaine à son enseignement. In Develay, M. (éd.). *Savoirs scolaires et didactiques des disciplines* (pp. 317-337). Paris : ESF.

SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1991). *Problèmes posés par l'enseignement des concepts d'alimentation et de nutrition au collège. Obstacle à la construction du concept de digestion au collège*. Thèse de doctorat, Paris 7.

SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1993). De la représentation en tuyaux au concept de milieu intérieur. *Aster*, 17, 189-204. Paris : INRP.

SIMONNEAUX, L. (1995). *Les bio-technologies de la reproduction animale chez les bovins : approche didactique et muséologique*. Thèse de doctorat, Université Lyon 1.

STENGERS, I. (éd.) (1987). *D'une science à l'autre. Des concepts nomades*. Paris : Le Seuil.

STENGERS, I. (1997). *Cosmopolitiques, tome VI : La vie et l'artifice : visages de l'émergence*. Paris : La Découverte/Les empêcheurs de penser en rond.

STEWART, J. (1996). La spécificité épistémologique de la biologie. *Tréma*, 9-10, 5-16. IUFM Montpellier.

TASSY, P. (éd.) (1986). *L'ordre et la diversité du vivant*. Paris : Fayard & Fondation Diderot.

TATON, R. (éd.) (1961). *Histoire générale des Sciences* (plusieurs tomes). Paris : PUF.

THÉRAULAZ, G. (1991). *Morphogénèse et auto-organisation des comportements dans les colonies de guêpes. Une introduction aux propriétés de l'intelligence en essaim*. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille 1.

THÉRAULAZ, G., BONABEAU, E. (1995). Coordination in distributed building. *Science*, 269, 686-688.

THUILLIER, P. (1981). *Les biologistes vont-ils prendre le pouvoir ?* Paris : éd. Complexe.

TORT, P. (éd.) (1996). *Dictionnaire du Darwinisme et de l'Évolution*, 3 tomes. Paris : PUF.

TRIQUET, É., CLÉMENT, P. (1990). Confrontation d'imaginaires lors de la genèse d'une exposition scientifique. In A., Giordan, J.-L., Martinand et D., Raichvarg (éds.). *Actes des XIIes JIES* (pp. 93-100). Paris : DIRES-Université Paris 7.

TRIQUET, É. (1993). *Analyse de la genèse d'une exposition de science, pour une approche de la transposition médiatique*. Thèse de doctorat, Lyon 1.

VAN PRAËT, M. (1989). La non-acquisition des notions de temps et d'espèce : deux entraves à l'enseignement de la théorie de l'évolution. In A., Giordan, J.-L., Martinand, et D., Raichvarg (éds.). *Actes des XIes JIES* (pp. 357-362). Paris : DIRES-Université Paris 7.

VARÉLA, F. (1989). *Autonomie et connaissance. Essai sur le vivant*. Paris : Le Seuil.

ANNEXE

Liste des 36 mémoires de DEA soutenus à l'Université Lyon 1 (et parfois Grenoble 1), encadrés ou co-encadrés par Pierre Clément de 1987 à 1998**1987**

MEIN, M.-T. *Les représentations du cerveau*. Lyon 1.

NDIAYE, V. *Des animaux vivants et/ou des documents vidéo pour observer des comportements en Travaux Pratiques ?* Lyon 1.

ROBERT, A. *Lire en science*. Lyon 1.

1988

MARZIN, P. *La transposition didactique d'un savoir savant dans le milieu agricole : le concept d'hétérosis du maïs*. Grenoble 1.

PACCAUD, M. *Propositions pour une pédagogie à travers les conceptions et la métacognition*. Lyon 1.

1989

CABRITA, A. *La cellule vivante, les conceptions d'élèves de trois niveaux scolaires (CM2, 3^e, Terminale)*. Lyon 1.

ORLANDI, É. *La démarche expérimentale dans un enseignement de biologie en classe de 3^e : travail sur les conceptions des enseignants*. Lyon 1.

TÉTU, B. *L'épisode "la planète cellule" du dessin animé "Il était une fois la vie" (FR3 production). Son impact chez des élèves de CE1, CE2*. Lyon 1.

1990

DARLEY, B. *Analyse des conceptions d'enseignants-chercheurs sur les continuités et ruptures entre leur pratique de recherche et d'enseignement en T.P. en Biologie*. Grenoble 1.

FORESTIER, J. *Le concept d'énergie dans la formation des techniciens agricoles*. Lyon 1.

WALTHERT, C. *Conceptions de chercheurs et de divers publics face à l'imagerie cérébrale*. Grenoble 1.

1991

DUBOUIS, J.-L. *Concept de cellule et conceptions des élèves en fin de classe de 4^e*. Lyon 1.

GAY, A. *Un système-expert pour l'enseignement : Utilisation du logiciel "PORCELET" dans une école d'ingénieurs en agriculture*. Lyon 1.

JOSELEAU, D. *L'enseignement des comportements alimentaires en classe de 6^e : comparaison de deux situations d'apprentissage utilisant différemment des documents vidéo*. Lyon 1.

VUALA, J. *Évolution des conceptions sur la respiration chez des élèves de cours moyen après visionnement d'un épisode du dessin animé : "Il était une fois la vie"*. Lyon 1.

1992

MIALON, M. *Problématique d'apprentissage des concepts de pathologie animale dans une classe de techniciens supérieurs agricoles*. Lyon 1.

1993

POUGET, F. *Analyse des conceptions d'enseignants de classe de seconde sur l'utilisation d'animaux vivants pour l'étude des comportements*. Lyon 1.

1994

ABROUGUI, M. *Évolution des conceptions d'élèves de classes ZEP et non ZEP en fonction de stratégies pédagogiques accompagnant la visite de l'îlot "Fais ta Carte d'Identité" à la Cité des Enfants (Cité des Sciences et de l'Industrie de Paris)*. Lyon 1.

ARTHUS, P. *Les activités sensori-motrices et cognitives d'enfants de 3 à 6 ans sur deux îlots de la Cité des enfants (Cité des Sciences et de l'Industrie de la Villette, Paris)*. Lyon 1.

BENSAÏD, B. *Les conceptions de scientifiques sur l'existence de l'Évolution*. Lyon 1.

CAYLA, N. *La collection de l'École des Mines de Saint-Étienne ; passé, présent, avenir*. Université Paris 7 & Palais de la Découverte.

DEMENGE, J.-D. *Les collections de roches*. Lyon 1.

ÉCOCHARD, J. *Conceptions sur la radiologie et l'imagerie médicale chez les futurs visiteurs d'une exposition scientifique*. Lyon 1.

HAJJAR-HARFOUCH, Z. *Analyse du concept de photosynthèse dans des manuels libanais et français de 1^e S et de Terminale*. Lyon 1.

MORRIER, C. *Samara : une impossible synthèse entre économie et culture scientifique ?* Lyon 1.

OTT, V. *Impact de l'îlot "Fais ta carte d'identité" à la Cité des enfants (CSI - la Villette) sur les publics des mercredis et des week-end*. Lyon 1.

PIOT, A.-K. *Quel jugement est porté par des enseignants et des étudiants sur le cerveau humain et ses images ?* Lyon 1.

1995

FAUCON-BOUVIER, C. *Évolution des conceptions d'élèves de 8-9 ans sur les relations trophiques dans un écosystème à la suite d'un jeu*. Lyon 1.

FISSEUX, C. *Opacité des radiographies, perplexité des enseignants. Les images radiographiques à l'école primaire*. Lyon 1.

1996

GUIU, F. *Didactique de l'Éducation à l'Environnement : distance entre la pratique et la théorie de la Pédagogie de Projet*. Lyon 1.

MAFFÉO, V. *L'imagerie cérébrale en classe de troisième*. Lyon 1.

VILLARUPLA, L. *Pratiques documentaires et apprentissages disciplinaires : analyse d'une utilisation des documents de vulgarisation*. Lyon 1.

1997

PERRIER, M.-F. *L'évolution des images anatomiques dans les manuels de l'école élémentaire de la fin du XIX^e siècle à nos jours*. Lyon 1.

1998

CHEIKHO, M. *Les conceptions de chercheurs et d'autres acteurs sur la pluridisciplinarité pour la connaissance et la gestion de la forêt méditerranéenne (exemple du Mont Ventoux)*. Lyon 1.

COTTANCIN, D. *Entre connaissances et opinions : les conceptions de futurs enseignants de Lycée sur le cerveau et son épigénèse*. Lyon 1.

HOVART, S. *Éduquer à l'environnement avec "La rivière m'a dit..." : conceptions de professeurs d'écoles et d'intervenants extrascolaires*. Lyon 1.

DES RECHERCHES EN DIDACTIQUE DE LA BIOLOGIE : FINALITÉS, PROBLÉMATIQUES, CONCEPTS ET PRODUCTIONS (1988-1998)

Maryline Coquidé-Cantor
Cécile Vander Borgh

Cet article propose un bilan de recherches, principalement francophones, en didactique de la biologie-géologie, réalisées au cours de ces dix dernières années. Une articulation entre différentes finalités de l'enseignement/apprentissage de la biologie avec différentes problématiques de recherches didactiques est avancée. Les principaux objets de recherche et outils intellectuels utilisés sont présentés.

Ce bilan de recherches, principalement francophones, en didactique de la biologie-géologie n'aspire pas à l'exhaustivité. Il tente d'établir des orientations et des apports essentiels de la recherche en didactique de la biologie (au sens large) de la dernière décennie, avec pour perspective de représenter une grille de lecture et de contribuer à structurer le champ (1).

Ce texte se présente en quatre parties.

- Dans une première partie, nous aborderons le problème des recherches des finalités, que celles-ci soient conséquentes des finalités de l'enseignement et des apprentissages scientifiques ou qu'elles soient propres aux recherches elles-mêmes.
- Nous considérerons, ensuite, les objets de recherche.
- Nous aborderons les objets d'étude et les outils intellectuels utilisés en recherche.
- Nous tenterons enfin d'ouvrir le débat.

1. ARTICULATION ENTRE DES FINALITÉS ET DES PROBLÉMATIQUES DE RECHERCHES EN DIDACTIQUE DE LA BIOLOGIE

Par les domaines qu'elle étudie — le vivant, l'être humain, l'origine de la vie, les écosystèmes — la biologie est facilement

(1) La liste des thèses et des mémoires de fin d'études a été établie en contactant différents responsables de formation doctorale en France et en Belgique. Nous l'espérons la plus complète possible. D'autres travaux – dans d'autres didactiques, en histoire des sciences, en psychologie, en linguistique...– pourraient mobiliser le didacticien de la biologie. Ne sont recensés ici que ceux présentant, au moins en partie, des questions de recherche de didactique de la biologie (au sens large). Si vous avez des remarques, questions, suggestions, veuillez les faire parvenir à l'une ou l'autre d'entre nous : Maryline.Coquide@univ-rouen.fr ; vanderborgh@bani.ucl.ac.be–

enjeux sociaux
de
l'apprentissage
de la biologie

utilisée par les idéologies mais aussi à l'origine de certaines d'entre elles. La recherche en didactique de la biologie-géologie affiche un souci des enjeux sociaux concernant les enseignements et les apprentissages (Host, 1991, 1995 ; Giordan, 1989). C'est, sans doute, une des raisons pour lesquelles elle s'intéresse à la fois à l'enseignement et à la culture scientifique.

Une réflexion sur les finalités de l'enseignement et des apprentissages scientifiques mais aussi sur celles des recherches en didactique de la biologie constitue une constante chez plusieurs d'entre nous (2). Pour certains, les différentes finalités repérées sont conflictuelles, pour d'autres elles peuvent se compléter, tout en argumentant de la nécessité d'une clarification et de tolérance. Nous voudrions, dans les lignes qui suivent, relier les finalités de l'enseignement/apprentissage de la biologie à un certain nombre de recherches réalisées.

1.1. Finalités de l'enseignement/apprentissage de la biologie

C'est à partir de "discours affichés" d'enseignement et de vulgarisation (orientation de programmes, réflexions sur l'enseignement et sur la formation...) que nous avons identifié différentes finalités d'enseignement-apprentissage de la biologie, mais il y a aussi les discours implicites ou volontairement masqués :

différentes
finalités
d'enseignement
explicites ou
implicites...

- finalités utilitaires, centrées sur l'acquisition de comportements observables,
- finalités démocratiques, basées sur l'exercice d'une rationalité critique et le développement de compétences,
- finalités éthiques, axées sur l'engagement au service de valeurs.

Dans la vulgarisation scientifique, des finalités esthétiques apparaissent également fréquemment (Raichvarg, 1993). D'autres finalités, telle "la science pour la science", peuvent apparaître dans les discours et l'enseignement ; nous n'avons pas trouvé de recherches en didactique les retenant.

...nécessité
de clarifier
ces finalités

Nous pensons qu'il est important de clarifier ces finalités, sur un exemple, car elles influenceront la façon de poser les questions de recherche. Ainsi, quand on aborde la question de la culture des cellules *in vitro* au lycée, les discours peuvent présenter différentes finalités :

- finalités démocratiques : par exemple lorsque les auteurs mettent en avant, pour l'enseignement, la culture *in vitro* comme une pratique sociale de référence (PSR) ; une question de recherche en didactique pourrait être "comment utiliser la PSR de la culture *in vitro*, en situation de classe, pour favoriser la conceptualisation de la différenciation cellulaire des organismes vivants ?"

(2) Voir notamment à ce sujet les travaux de G. Aikenhaid, J. Désautels, G. Fourez, A. Giordan, M. Laroche, J.-L. Martinand, G. Rumelhard, J. Solomon.

- finalités utilitaires : par exemple aborder l'apprentissage de la culture *in vitro* comme celui d'un ensemble de procédures normatives ; une question de recherche en didactique pourrait être "quels référentiels construire pour valider une formation de technicien horticole ?"
- finalités éthiques : par exemple lorsque les auteurs abordent, dans leur questionnement relatif à l'enseignement ou à la formation, les enjeux de la culture *in vitro*.

Il peut, cependant, y avoir une distorsion entre un affichage de finalités et les questions de recherche effectives. Par exemple, lorsqu'on met en avant un questionnement éthique relatif à l'éducation à l'environnement et que la recherche porte essentiellement sur des contenus écologiques.

Les finalités ne sont cependant pas toujours explicitées dans les recherches et il faut se méfier des interprétations. Il nous apparaît, cependant, que les différentes études présentées ci-dessous, à titre d'exemple, développent des problématiques contrastées que l'on pourrait mettre en relation avec leurs finalités.

• **Finalités utilitaires**

Une finalité de l'enseignement de la biologie de type utilitaire doit se donner des priorités. Elle peut, par exemple, ne s'intéresser qu'à la dimension d'utilité sociale de savoirs comme, par exemple, l'apprentissage de règles d'hygiène. Dans le domaine de la formation professionnelle — des professions agricoles, de la biotechnologie ou des professions de la santé, par exemple — elle ne s'intéresse qu'à l'acquisition de comportements. Les recherches en didactique en relation avec cette finalité d'enseignement se donnent alors comme priorité de remédier aux difficultés ou d'améliorer le rendement par l'efficacité de l'enseignement ou de la formation. Les finalités utilitaires et plus largement toutes finalités opératoires sont fréquemment mises en avant dans la formation professionnelle (Bazile, 1994).

efficacité de
l'enseignement

• **Finalités démocratiques**

Une autre finalité de l'enseignement de la biologie relie culture scientifique et citoyenneté. Elle se trouve, par exemple, dans la construction attentive de la rationalité du futur citoyen et dans l'exercice de son esprit critique : il s'agit de faire en sorte qu'enseigner des savoirs biologiques ne revienne pas à inculquer une croyance. La recherche en didactique en relation avec cette finalité se donne alors comme priorité la valeur de vérité (Rumelhard, 1992) et la scientificité des savoirs scolaires.

scientificité des
savoirs scolaires
et éducation
scientifique

Il peut également s'agir de développer des compétences — relatives par exemple à la socialisation, à l'autonomie et à la responsabilité. La recherche en didactique relative à cette finalité se donne alors comme priorité de favoriser l'éducation : l'éducation scientifique, et certains points de vue (mais

pas tous, certaines finalités pouvant être utilitaires selon le contexte social, ...) dans l'éducation à la santé ou l'éducation à l'environnement.

• **Finalités éthiques**

explicitation
de valeurs

Lorsque l'on aborde l'enseignement/apprentissage de la biologie, on ne peut esquiver les problèmes éthiques. Dans cette perspective, la recherche en didactique se tourne alors vers l'explicitation des valeurs (Mathy, 1997).

1.2. Perspectives des recherches en didactique de la biologie

différentes
finalités de
recherches
didactiques

Remarquons que les recherches développées autour de différentes finalités présentent des points de vue différents (Coquidé, à paraître) :

- une perspective analytique et critique,
- une perspective technique et propositionnelle.

• **Perspective analytique et critique de la recherche en didactique**

Cette perspective polémique se caractérise par la vigilance. Il s'agit de décrire, d'analyser, afin d'éviter tout dogmatisme dans l'enseignement de la biologie.

• **Perspective technique et propositionnelle de la recherche en didactique**

À cette première perspective de recherches en didactique, s'articule, ou non, une perspective d'intervention didactique argumentée. Il s'agit de connaître pour aider à prendre des décisions : pour mettre en place des situations d'apprentissage ou pour argumenter lors du renouvellement d'un curriculum, par exemple.

1.3. Articulation finalités/perspectives

Dans un contexte de finalités utilitaires d'enseignement et d'apprentissage, on peut considérer qu'enquêter sur la réception du nouveau curriculum en Angleterre (Jenkins, 1995) correspond à un point de vue plutôt analytique et critique, tandis qu'évaluer l'impact d'un produit de culture scientifique (Guichard, 1995) présente une perspective d'intervention didactique argumentée.

Avec des finalités démocratiques d'enseignement et d'apprentissage, les études qui cherchent à identifier des obstacles — dans les contenus d'enseignement (Rumelhard, 1986) ou dans des aides didactiques ou des produits de culture scientifique (Clément, 1994 ; Giordan *et al.*, 1994) — ou bien encore celles qui visent à analyser le dogmatisme — dans le discours de l'enseignant (Désautels *et al.*, 1993 ; Favre,

1993) — correspondent plutôt à une perspective critique de la didactique. Les recherches qui établissent des innovations contrôlées pour analyser des possibilités d'intervention didactique (nombreuses recherches coopératives équipe INRP) ont, de leur côté, plutôt une perspective d'intervention didactique argumentée.

Finalités, perspectives et problématiques des recherches en didactique de la biologie

<i>Finalités de l'enseignement/apprentissage de la biologie</i>	<i>Problématiques des recherches</i>
utilitaires démocratiques éthiques	efficacité de l'enseignement ou de la formation scientificité des savoirs scolaires éducation explicitation des valeurs
<i>Perspectives de la recherche en didactique</i>	<i>Problématiques</i>
analytique et critique technique et propositionnelle	éviter tout dogmatisme connaître pour aider à prendre des décisions.

2. OBJETS DE RECHERCHE

tendances
actuelles de
recherches
en didactique
de la biologie

Dans la présentation des objets de recherche, il ne s'agit pas de faire un catalogue mais d'essayer de définir les tendances actuelles des recherches en didactique de la biologie, en les articulant aux finalités de recherche présentées ci-dessus et en les situant dans les grandes perspectives que ces concepts ouvrent. Il ne faut pas, bien sûr, considérer que les quelques travaux que nous présentons brièvement ici se réduisent à l'objet de recherche considéré. Par exemple, les travaux dont l'objet de recherche est centré sur l'apprentissage d'un concept biologique juxtaposent souvent une réflexion épistémologique, un recueil puis une analyse de conceptions, et une analyse critique d'aides didactiques.

2.1. Élaboration historique des concepts et des modèles

Les didacticiens de la biologie questionnent fréquemment l'élaboration historique des concepts et des modèles, mais avec plusieurs perspectives différentes.

- Ils utilisent des productions historiques ou épistémologiques dans le but d'identifier des obstacles épistémologiques qui pourraient servir de grille d'analyse pour les obstacles aux apprentissages : Giordan sur la sexualité, Goix H. en géologie à propos des concepts de cristal et de magmatisme, Clément et Mein sur le cerveau, Sauvageot sur la digestion et le milieu intérieur, Astolfi et Drouin sur le concept de milieu,

différentes perspectives dans les relations histoire des sciences et didactique

Rumelhard pour le concept de régulation, Fortin sur la biologie de l'évolution...

- Ils établissent des synthèses originales, ou proposent des documents originaux pour servir la formation des enseignants : le livre *Histoire de la biologie* coordonné par Giordan, les différents étapes de modélisation du cycle de Krebs rassemblées et analysées par Salviat, etc.
- Ils établissent, à partir de documents historiques, des recherches avec un questionnement peu développé par les historiens des sciences : analyse de l'argumentation dans le débat scientifique Pouchet-Pasteur par Coquidé-Cantor, analyse historique de la diffusion et de la popularisation de savoirs biologiques (diffusion de connaissances concernant le cycle féminin et le contrôle de la fécondité par Coquidé-Cantor, concernant l'hygiène par Raichvarg).
- Ils étudient l'utilisation d'expériences historiques en situation d'apprentissage (équipe INRP pour la photosynthèse), ils proposent une transposition d'expériences historiques de neurophysiologie (Darley) ou de respiration cellulaire (Salviat) pour établir des protocoles de travaux pratiques, ou ils fournissent des arguments historiques pour enseigner l'évolution (Jensen et Finley).

2.2. Conceptions des apprenants et obstacles à l'apprentissage

Les conceptions des apprenants et leur prise en compte dans les apprentissages ont représenté un thème majeur des recherches en didactique de la biologie (Giordan et Martinand, 1988 ; voir aussi l'ouvrage coordonné par Giordan, Girault et Clément, 1994 et rassemblant plus de 15 contributions différentes).

D'un point de vue méthodologique, les enquêtes sur les conceptions des apprenants fournissent des données d'une façon très diversifiée (Giordan et Martinand, 1988), surtout en ayant recours à des questionnaires ou des entretiens, qu'ils soient ponctuels ou longitudinaux (De Bueger-Vander Borghet *et al.*, 1989 ; Torres Carrasco, 1991). C'est par une approche d'analyse linguistique des dialogues en situation de visite de technicien conseil que P. Marzin (1994) a caractérisé les conceptions des éleveurs concernant l'écopathologie des porcs.

évolution des recherches sur les conceptions des apprenants

Les premiers travaux sur les conceptions, tels ceux de A. Giordan et G. De Vecchi sur la respiration et sur la digestion, ont décrit les "erreurs" et ont établi des "catalogues" de conceptions, pour illustrer la distance entre ce que les apprenants mobilisaient dans des situations précises et les connaissances scientifiques qu'ils étaient censés maîtriser. Ces travaux recherchaient plutôt les "*misconceptions*" (au sens anglo-saxon) des apprenants avec l'idée qu'elles font

conceptions et
obstacles aux
apprentissages

obstacle aux apprentissages scientifiques. Cette façon de penser a évolué depuis.

Depuis les travaux de l'équipe Aster de l'INRP (1985), l'identification des conceptions des apprenants n'est qu'un premier stade de la recherche, à partir duquel sont analysés les obstacles à l'apprentissage. Ainsi, les conceptions de la digestion humaine de type "tuyauterie continue" peuvent être un obstacle à la compréhension de l'assimilation ou à la construction du concept de surface d'échange avec le milieu intérieur (Clément, 1991 ; Sauvageot, 1993). Les conceptions sont également souvent recueillies avant et après une action pédagogique (Paccaud, 1994) ou l'utilisation d'un produit de culture scientifique (Giordan, Souchon, Cantor, 1994 ; Guichard, J. et Guichard, F., 1997) comme évaluation d'impact de l'apprentissage ou pour identifier les changements conceptuels des apprenants.

Les obstacles se présentent en nombre restreint (3), aussi plutôt que d'analyser la diversité des représentations, les recherches actuelles tentent plutôt d'identifier des unités et les "nœuds d'obstacles" à l'œuvre dans le système explicatif de l'apprenant afin de mettre en pratique un objectif de dépassement d'obstacles ("*objectif-obstacle*" de J.-L. Martinand) dans les démarches pédagogiques (Astolfi et Peterfalvi, 1993).

Depuis les travaux de G. Rumelhard sur la génétique (1986), on tente d'établir des différenciations dans les obstacles et, concernant la biologie, une attention particulière est donnée aux représentations sociales — notamment dans le domaine de la biologie humaine et dans l'éducation à la santé, par exemple dans l'identification de représentations sociales concernant les "microbes" : René et Guilbert, 1994.

relativité des
obstacles

Rappelons également le caractère polémique de la notion d'obstacle, y compris parmi les chercheurs en didactique de la biologie. Par exemple, le sens commun dévalorise l'idée d'obstacle, or l'obstacle est positif, il mobilise un savoir autre que scientifique et c'est en s'appuyant entre autre sur cette positivité que la didactique propose de nouvelles procédures d'apprentissage, envisageant en particulier de développer la vigilance critique et de faire identifier *a posteriori* les obstacles par les apprenants (comme dans les recherches sur "objectif-obstacle" de l'équipe INRP coordonnée par Astolfi et Peterfalvi, 1997 et 1998).

La pensée catégorise, et considère souvent l'obstacle comme étant un obstacle une fois pour toute, oubliant que l'obstacle est relatif. Tout obstacle peut fonctionner tantôt comme aide et tantôt comme obstacle, selon le contexte. "*Il est remarquable*", soulignait Bachelard, "*que d'une manière générale les obstacles à la culture scientifique se présentent toujours par paires.*"(4). G. Rumelhard (1996) souligne l'attention à

(3) Relire Canguilhem et les articles sur obstacles d'Astolfi (dans *Mots clés de la didactique des sciences* et dans *Didactique des sciences de la vie et de la terre*) et les articles de Rumelhard.

(4) G. Bachelard (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin, 12^e éd. 1983 ; p. 20.

dualité des obstacles

porter à cette dualité de l'obstacle en didactique : si la mathématisation peut être considérée comme une étape importante dans l'évolution de la pensée scientifique, une mathématisation systématique peut constituer un obstacle et conduire à un recueil et à un traitement de données stériles. M. Coquidé-Cantor a repris cette dialectique outil-obstacle pour identifier les difficultés qu'avaient les manuels scolaires à présenter à la fois l'unité et la variabilité dans la conceptualisation du vivant (1996).

franchissement des obstacles

Le traitement didactique des obstacles s'effectue le plus souvent dans des situations de résolution de problèmes. À partir d'une étude de cas sur la nutrition dans une classe de CE2, M. Fabre et C. Orange (1997) formalisent les débats qui ont lieu dans la classe, en utilisant le concept d'espace-problème issu de la psychologie cognitive. Leur analyse relie franchissement d'obstacle et construction de problèmes par les élèves.

2.3. Modèles et modélisation

Le vivant représentant un système de systèmes complexe, organisé et régulé, les biologistes ont recours à la *méthode des modèles* (Legay, 1998) (5). Les problèmes relatifs à l'utilisation de modèles dans l'enseignement et à l'apprentissage de la modélisation sont cruciaux dans les recherches actuelles de didactique.

"Modèles et modélisation" a constitué un vaste programme pour une recherche coopérative d'une équipe INRP/LIREST pendant plusieurs années (Martinand *et al.*, 1992, 1994). G. Rumelhard a coordonné tout un ensemble de travaux autour de la régulation et sa modélisation en biologie (1994).

utilisation de modèles et démarche de modélisation en biologie

P. Schneeberger (1994) a effectué une synthèse historique et pédagogique de l'utilisation des modèles relatifs à la régulation en biologie. Elle a proposé des pistes d'intervention pédagogique pour faciliter les démarches de modélisation et de représentation schématique des régulations.

C. Orange (1997) a étudié les difficultés des élèves à accéder à un type de modélisation bien développé en biologie : la modélisation compartimentale. Ce type de modélisation peut servir de première approche d'une étude de systèmes. Le principe est de décomposer le système étudié en compartiments, qui ne relèvent pas d'un simple découpage anatomique mais qui sont considérés comme des classes d'équivalences d'un élément étudié. Le fonctionnement d'un compartiment peut alors être défini par plusieurs grandeurs (variable d'état de l'élément étudié, flux d'entrée et flux de sortie). C. Orange a analysé différentes pratiques de modélisation compartimentale dans l'enseignement de la biologie, en physiologie animale et végétale et en écologie, et le champ conceptuel qu'elles mettent en jeu. Ces différentes analyses lui permettent d'argumenter de la nécessité des élèves de maîtriser tout un ensemble d'éléments du registre explicatif pour pouvoir accé-

(5) J.-M. Legay (1998). *L'expérience et le modèle. Un discours sur la méthode*. INRA éditions.

der à la modélisation compartimentale. Ses différentes propositions peuvent être utiles à d'autres didactiques qui utilisent cette modélisation, par exemple en économie.

2.4. Le rapport à l'expérimental

rapport à
l'expérimental...

Le rapport à l'expérimental constitue un domaine de recherche qui avait été initialement privilégié, puis un peu délaissé en didactique de la biologie pendant plusieurs années. Remarquons, cependant l'importance constante donnée à l'étude de l'apprentissage de la transposition de pratiques de chercheur scientifique, souvent appelée la démarche expérimentale.

...question de
démarches...

Les recherches didactiques effectuées au niveau de l'enseignement universitaire ne sont pas encore très développées en France. Soulignons que B. Darley a effectué ses études sur l'enseignement de la démarche scientifique au niveau des travaux pratiques de neurophysiologie de DEUG.

...question
d'instrumentation

En corrélation avec le nouvel environnement instrumental des salles de TP et l'introduction des ordinateurs dans les lycées et dans quelques collèges, N. Salamé et l'équipe Techne de l'INRP étudient les potentialités pédagogiques que représentent l'ordinateur, les logiciels d'aide à l'expérimentation et les logiciels de simulation, pour l'enseignement de la biologie (1992).

...question de
références

En relation avec une nouvelle problématique didactique qui fait suite aux recherches sur la modélisation et qui s'interroge sur la constitution du référent empirique (Martinand, 1986) lors des apprentissages, une recherche coopérative — coordonnée par C. Larcher et à laquelle participent plusieurs didacticiens de la biologie — termine, cette année, un ensemble de travaux sur l'expérimental dans la classe.

2.5. Les rapports au savoir de professeurs et d'élèves

question du sens
attribué à
l'apprentissage

Un grand nombre de recherche en didactique de la biologie se réalisent dans une optique socio-constructiviste de l'apprentissage. Dans cette perspective, la question du sens, attribué à l'apprentissage par l'élève, est déterminante pour la construction des connaissances. Les bilans de savoir constituent un outil permettant d'approcher le rapport en tension de professeurs et d'élèves (Alost, 1997 ; Delacroix, mémoire en cours).

2.6. La transposition didactique

Le concept de transposition didactique est utilisé dans certaines recherches en didactique de la biologie. Ainsi, M. Grosbois, G. Ricco et R. Sirota ont réalisé un important travail d'analyse de la transposition didactique du concept de respiration dans les manuels scolaires (1992). Remarquons

que cette analyse ne cherche qu'à établir une distance entre un savoir savant de référence — uniquement de type biologie moléculaire et sans référence à une biologie évolutionniste dans ce cas — et un savoir scolaire.

Remarquons, d'autre part, qu'en didactique de la biologie comme en didactique de la technologie, ce concept de transposition connaît des limites puisqu'il ne prend pas en compte les pratiques sociales de référence. Aussi, plutôt que d'analyser simplement une distance entre "savoir savant" et "savoir scolaire", M. Develay argumente de la nécessité d'inclure, dans la transposition, la prise en compte des valeurs et des pratiques de référence. Plusieurs d'entre nous avancent même des propositions d'une "création didactique" qui représenterait une réelle transposition contrôlée et raisonnée suivant une finalité d'apprentissage (Astolfi, 1994 ; Coquidé et Salviat, à paraître).

2.7. Les situations d'apprentissage et les aides didactiques

Les situations et les conditions qui facilitent l'appropriation de savoirs biologiques par les apprenants représentent un vaste domaine en didactique de la biologie.

- Les aides didactiques, en particulier les manuels scolaires, représentent des objets d'étude largement partagés par les didacticiens de la biologie, soit pour des études formelles, soit pour des analyses en liaison avec des situations d'apprentissage.

Les recherches concernant les situations d'apprentissage et les aides didactiques ont, en effet, développé deux perspectives (voir partie 1 du texte) :

- une finalité critique d'analyse de situations et d'aides didactiques existantes,
- une finalité d'intervention didactique raisonnée pour aider à construire des situations ou à élaborer des aides didactiques.

Plusieurs équipes ont travaillé, successivement, sur ce domaine.

- Une équipe, animée par Y. Ginsburger-Vogel et J.-P. Astolfi (1987), a analysé les difficultés que rencontrent les élèves dans la lecture de leur manuel de biologie.

- L'équipe, animée par A. Vérin et J.-P. Astolfi (1988, 1991, 1992), a effectué plusieurs recherches concernant les différentes fonctions de l'écriture dans les apprentissages scientifiques. Une nouvelle recherche est en cours, qui s'intéresse notamment à l'écriture en sciences à l'école élémentaire et à la prise en compte des difficultés des enfants face à l'écrit.

- Les enseignants ont fréquemment recours à de l'imagerie dans les situations d'apprentissage qu'ils mettent en œuvre, comme source d'informations et comme support d'activités.

Une équipe, animée par G. Mottet, a analysé les différentes utilisations des images dans l'enseignement de la biologie et de la géologie, et a proposé une catégorisation de "situations-images" (1996).

- L'équipe de Louvain a utilisé le dessin humoristique comme médiateur de concepts en génétique (Van der Gucht, 1994 ; Corten-Gualtieri, 1995).

- Les représentations schématiques sont fréquemment utilisées dans l'enseignement de la biologie. Plusieurs recherches ont analysé les difficultés liées à ces représentations : S. Jebbari (1994) sur le cycle féminin, A. Lavarde (1992) sur la circulation sanguine, P. Schneeberger sur la régulation (1992). C. Haguenauer (1991, 1995) a analysé tout un ensemble de difficultés relatives à la représentation des cycles en biologie et en géologie : difficultés qui peuvent être liées à la représentation, à son manque de cadre de référence, aux changements d'échelles, aux significations multiples que peut avoir une représentation schématique d'une "flèche", et difficultés relatives à la conceptualisation de cycle fermé.

différentes
logiques de
commande
de situations
d'apprentissage

• Concernant les situations d'apprentissage, J.-P. Astolfi, en s'appuyant sur l'exemple de la géologie à l'école élémentaire, a proposé de distinguer différents modes de commande pour une séquence d'enseignement scientifique (1991). L'équipe de Louvain (1990) avait pris comme "prétexte" l'immunologie pour étudier l'autonomie dans l'apprentissage. Actuellement, ce sont plutôt les logiques internes des enseignants qu'étudie cette équipe. Par une analyse de discours tenus par des enseignants en classe de biologie et de chimie, elle cherche à décrire des processus de reformulation de l'enseignant et des mises en œuvre de procédures de définition (De Bueger *et al.*, 1995, 1996) et les opérations cognitives mises en œuvre par les élèves (Hammu, 1996).

des études
en relation
avec les TICE

Avec l'avènement de l'utilisation des technologies de l'information et de la communication dans l'enseignement (TICE), un certain nombre de recherches dans ce domaine commencent à se développer. Actuellement, la plupart d'entre elles concernent des développements : elles décrivent principalement le *design* de cours (6). Certaines recherches utilisent des concepts de biologie comme prétexte pour évaluer l'efficacité de l'un ou l'autre de ces *designs*.

(6) Voir à ce sujet les publications de l'Association for the Advancement of Computer in Education. Mais aussi Jenkins, R.O. (1997). Computer-assisted learning material and the practice of biotechnology. *Journal of Biological Education*, Spr. 1997, vol 31, n°1, 65-69 ; Baggott, L., Nichol, J., Ellison, P. (1997). Educational informatics for the biology teacher. *Journal of Biological Education*, Fal. 1997, vol 31, n°3, 189-196 ; Newton, L.R. (1997). Information technology in biology teaching : challenges and opportunities. *Journal of Biological Education*, Win. 1997, vol 31, n°4, 274-278...

2.8. Curriculum

Plusieurs recherches tentent, dans une perspective analytique et critique, d'établir des comparaisons entre curriculum prescrit et curriculum réel : thèse de P. Savaton à propos des cartes géologiques (soutenue en septembre 1998), thèse en cours de D. Galiana à propos de la photosynthèse...

Dans une perspective d'intervention didactique argumentée, des propositions relatives aux différents niveaux de formulation conceptuelle dans une perspective curriculaire sont avancées (Cañal de León, 1992 ; De Vecchi, 1994 ; Garcia, 1994 ; Lalanne, 1985)

2.9. Formation des enseignants. Conceptions des enseignants

L'étude de P. Antheaume (1993) a caractérisé des compétences à développer lors de la formation professionnelle d'enseignants du primaire, non spécialistes en biologie.

la formation
des enseignants
ne constitue
pas encore
un objet d'étude
largement
partagé...

Plusieurs travaux s'intéressent à l'épistémologie des étudiants ou étudient l'utilisation de l'histoire des sciences pour la formation des enseignants de biologie du secondaire (Coquidé-Cantor, 1997 ; Désautels *et al.*, 1993 ; Gagné, 1994 ; Guilbert et Meloche, 1993 ; Lakin et Wellington, 1994). Si de nombreuses recherches didactiques produisent des documents destinés à être utilisés en formation, il faut constater que la formation des enseignants de biologie, en elle-même, ne constitue pas encore un objet d'étude largement partagé en France, malgré la création des IUFM.

...mais
développement
de l'étude
des conceptions
des enseignants

Les études sur les conceptions des enseignants, par contre, progressent depuis 5 ans. Elles ont un large champ s'étendant de recherches concernant les attitudes des enseignants vis-à-vis de l'un ou l'autre moyen d'enseignement (comme la dissection, Lock et Alderman, 1996) à leurs conceptions concernant l'enseignement, la formation qu'ils dispensent, le rôle des sciences dans la formation des élèves (Mabille, 1994). Les conceptions des enseignants représentent la thématique du numéro 26 d'*Aster* et plusieurs thèses en cours intègrent un questionnement sur les conceptions des enseignants dans leur problématique (7) .

À partir de ce que des enseignants expliquaient sur la façon dont ils avaient mis en œuvre un TP sur la digestion par la salive en classe de Troisième, É. Orlandi (1993) a analysé les conceptions d'enseignants de biologie sur la démarche expérimentale. Il apparaît deux modèles de raisonnement expérimental sous-tendus par deux types de conceptions sur les pratiques de recherche scientifique : une conception de démarche du type convergent, canalisé et une autre conception de type plus divergent et multidirectionnel. Cette étude

(7) Lajmi sur l'écologie, Lange sur la place de la mathématisation dans l'expérimentation en biologie, Mafféo sur leurs difficultés face à l'imagerie cérébrale...

établit par ailleurs un parallélisme entre pratique pédagogique, épistémologie spontanée et valeurs éducatives mises en avant chez ces enseignants.

C'est également par des entretiens, concernant l'enseignement de la génétique et menés auprès de professeurs de biologie tunisiens de classe de Terminale, que M. Abrougi (1997) a décrit plusieurs conceptions d'enseignants du type héréditariste.

A. Vérin, dans un article récent (1998), analyse la faisabilité du travail didactique des obstacles, vue par les enseignants qui ont participé à la recherche d'équipe INRP. Remarquons l'absence de travaux sur la représentation que les enseignants se font de la didactique, et la rareté des études du rapport des enseignants aux instructions, programmes, modèles pédagogiques et à toutes normes imposées (8).

2.10. Pour conclure

La présentation suivant les objets de recherche en didactique de la biologie oblige à effectuer des choix dans les critères de classement. D'autres rubriques auraient pu être constituées, et il ne faut pas se représenter ces rubriques comme "étanches". Certains travaux développent une problématique et fournissent des études qui alimentent plusieurs de ces rubriques. Le croisement de différentes études se révèle souvent fructueux. Par exemple l'analyse des obstacles à l'apprentissage de la notion de croissance au collège, effectuée par M. Goix (1997), et l'étude didactique de l'utilisation de didacticiels dans la construction collaborative de diagnostics d'élevage, réalisée par A. Gay (1996), enrichissent toutes deux la réflexion didactique concernant la théorisation de la *forme*, enjeu central dans tout apprentissage de biologie.

croiser
différentes
études

3. OBJETS D'ÉTUDE ET OUTILS INTELLECTUELS UTILISÉS EN RECHERCHE

des objets
d'étude
constitués...

Les didacticiens de la biologie s'approprient souvent, pour leurs recherches, des objets déjà constitués : les manuels scolaires, les contenus de programme, les cahiers des élèves, les cahiers de laboratoire des enseignants, les épreuves d'examen ou de validation, les produits de culture scientifique...

...ou à construire
pour la
recherche

Dans d'autres travaux, l'objet d'étude est construit pour la recherche : les situations d'apprentissage, les échanges verbaux, les bilans de savoir, les gestes lors des manipulations expérimentales.

Des outils intellectuels sont également utilisés pour la recherche.

(8) Remarque émise par Guy Rumelhard lors d'une relecture critique.

de nombreux
outils intellectuels
importés d'autres
disciplines...

- Les chercheurs en didactique de la biologie utilisent différents concepts de didactique : conceptions des apprenants ou des enseignants, obstacles, objectifs-obstacles, pratique sociale de référence, transposition didactique, conflit socio-cognitif...

Remarquons que des concepts proviennent parfois d'autres disciplines ou d'autres didactiques, et sont parfois appliqués en didactique de la biologie avec peu de discussion quant à leur pertinence pour ce domaine.

- Les recherches en didactique des sciences ont recours à des outils qui permettent de représenter spatialement des relations entre concepts.

C. Vander Borgh (1994) a analysé les utilisations possibles, les avantages, les complémentarités et les limites des deux outils de représentations spatiales de concepts que sont la carte conceptuelle et le réseau terminologique. C. Bruguère (1997) a utilisé les représentations spatiales des concepts pour identifier des réseaux conceptuels associés à l'enseignement/apprentissage de l'énergie.

...quelques outils
spécifiques

Les cartes conceptuelles, qui n'ont pas toujours la rigueur exigée par Novak dans leur élaboration reconnaissons-le (Jacobi, 1994), sont de plus en plus utilisées dans les recherches en didactique de la biologie. Les savoirs biologiques se présentant essentiellement sous une forme déclarative plutôt que sous une forme mathématisée, "*la biologie entre loi et histoire*" comme l'analyse brillamment le philosophe Gayon (9), l'équipe INRP, pour sa part, a particulièrement développé le recours à un outil spécifique — les trames conceptuelles — comme outil de recherche, outil de formation ou outil de régulation pour l'enseignant.

4. POUR OUVRIR LE DÉBAT

La confrontation critique de différents résultats de recherche n'est pas encore très développée en didactique de la biologie. Elle semble cependant indispensable pour faire progresser la problématisation didactique. La question des différentes formes de validation des résultats de recherche — validation se rapprochant de sciences expérimentales ou de sciences humaines, validation de type scientifique et/ou validation par les pairs — nourrirait également un débat largement ouvert.

Avec Astolfi (1994), nous pensons que par la diversité de ses finalités et de ses problématiques, la didactique de la biologie depuis 10 ans apparaît bien comme plurielle.

Les objets de recherche restent le plus souvent de taille restreinte (Lucas, 1993) — les concepts, les conceptions des apprenants — plutôt qu'une structure conceptuelle large : les

(9) J. Gayon (1993). *La biologie entre loi et histoire. Philosophie*, 38, 30-57. Paris : Éd. de Minuit.

aides didactiques, les situations de classe plutôt que les curriculums et la formation des enseignants.

Enfin, les recherches en didactique de la biologie que nous avons analysées, provenant plus du domaine de la didactique scolaire (école, collège, lycée) que de la didactique professionnelle des adultes, se caractérisent par une centration sur les champs conceptuels.

Cet article portait sur les recherches en didactique de la biologie essentiellement francophones. Il serait intéressant, dans une étape ultérieure, de comparer les postures francophones et anglophones.

Maryline COQUIDÉ-CANTOR
Université et IUFM de Rouen
GDSTC/LIREST ENS Cahan

Cécile VANDER BORGHT
Université catholique de
Louvain-la-Neuve, Belgique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. FINALITÉS

BAZILE, J. (1994). "L'opérateur et les microbes. La place des représentations dans la conception d'une formation à l'hygiène et à la qualité". *Éducation permanente*, 119, 65-78.

CLÉMENT, P. (1994). "La difficile évolution des conceptions sur les rapports entre cerveau, idées et âme". In Giordan, A., Girault, Y., Clément, P. (dir.). *Conceptions et connaissances* (pp.73-92). Berne : Peter Lang.

COQUIDÉ, M. (à paraître). "Obstacles à l'apprentissage en didactique des sciences : point de vue critique et analytique, point de vue technique et propositionnel". *Colloque Obstacles à l'apprentissage des sciences dans le secondaire, Université de Sfax*.

DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNÉ, B., RUEL, F. (1993). "La formation à l'enseignement des sciences : le virage épistémologique". *Didaskalia*, 1, 49-68. Paris : INRP/ Université Laval.

FAVRE, D. & RANCOULE, Y. (1993). "Peut-on décontextualiser la démarche scientifique ?". *Aster*, 16, 29-46. Paris : INRP.

FOUREZ, G. (1994). *L'alphabétisation scientifique et technique*. Bruxelles : De Boeck.

GIORDAN, A. (1989). "Culture scientifique et technologique, régulation de la démocratie et vie quotidienne". In *L'enseignement des sciences en l'an 2000*. Namur : Presses universitaires de Namur.

GIORDAN, A., SOUCHON, C., CANTOR, M. (1994). *Évaluer pour Innover. École, Musées et Médias*. Nice : Z'éditions, collection *Guides pratiques*.

GUICHARD, J. (1995). "Designing tools to develop the conception of learners". *I.J.S.E.*, 17, 2, 243-253.

HOST, V. (1991). "Les paradigmes organisateurs de l'enseignement de la biologie". *Cahiers Pédagogiques*, 298, 28-32.

HOST, V. (1995). "Finalités de l'enseignement scientifique face aux années 2000". *Perspectives*, XXV, 1.

JENKINS, E.W. (1995). "Central policy and teacher response ? Scientific investigation in the national curriculum of England and Wales". *I.J.S.E.*, 17, 4, 471-480.

MARTINAND, J.-L. (1992). "Enjeux et ressources de l'éducation scientifique". In A., Giordan, J.-L., Martinand et D., Raichvarg, (Éds.). *Actes des XIV^{es} journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et techniques*. Paris : DIRES-Université Paris7.

MATHY, Ph. (1997). *Donner du sens au cours de sciences*. Bruxelles : De Boeck.

RAICHVARG, D. (1993). *Science et spectacle*. Nice : Z'éditions.

RUMELHARD, G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne : Peter Lang.

RUMELHARD, G. (1992). "L'enseignement de la biologie comme culture". *Aster*, 15, 145-167. Paris : INRP.

RUMELHARD, G. (1995). "De la biologie contemporaine à son enseignement". In Develay, M. (dir.). *Savoirs scolaires et didactiques des disciplines : une encyclopédie pour aujourd'hui*. Paris : ESF éditeur.

RUMELHARD, G. (1996). "La spécificité de l'enseignement de la biologie : entre le repli défensif et l'ouverture". *Tréma*, 9-10, 23-32. IUFM de Montpellier.

2. OBJETS DE RECHERCHE

Élaboration historique des concepts et des modèles

ASTOLFI, J.-P. & DROUIN, A.-M. (1987). "Milieu". *Aster*, 3, 73-110. Paris : INRP.

CANTOR, M. (1994). *Pouchet, savant et vulgarisateur*. Nice : Z'éditions.

DESBEAUX-SALVIAT, B. (1997). "L'histoire du cycle de Krebs. Un exemple de retour aux publications-sources". In Rosmorduc, J. (dir.). *Histoire des sciences et des techniques* (pp. 191-202). Brest : CRDP.

FORTIN, C. (1994). "Le bon usage des conceptions en biologie de l'évolution". In Giordan, A., Girault, Y., Clément, P. (dir.). *Conceptions et connaissances* (pp. 157-170). Berne : Peter Lang.

GIORDAN, A. (dir.) (1987). *Histoire de la biologie*. 2 tomes. Paris : Technique et Documentation-Lavoisier.

GOIX, H. (1996). *Difficultés d'apprentissage des concepts de cristal et de magmatisme chez les élèves de collège : aspects historiques et didactiques*. Thèse de doctorat, Paris VII.

JENSEN, M.S & FINLEY, F.N. (1995). "Teaching evolution using historical arguments in a Conceptual Change Strategy". *Science Education*, 79, 2, 147-166.

MEIN, M.-T. (1988). "Les représentations du cerveau : modèles historiques". *Aster*, 7, 185-204. Paris : INRP.

Conceptions des apprenants et obstacles à l'apprentissage

ASTOLFI, J.-P. (dir.) (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris : INRP, collection *Rapports de recherches*, 3.

ASTOLFI, J.-P. & PETERFALVI, B. (1993). "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales". *Aster*, 16, 103-142. Paris : INRP.

CANTOR, M. (1996). "Réhabilitation de la diversité et besoin d'unité en biologie". *Tréma*, 9-10, 55-64. IUFM de Montpellier.

CLÉMENT, P. (1991). "Sur la persistance d'une conception : la tuyauterie continue digestion-excrétion". *Aster*, 13, 133-155. Paris : INRP.

CLÉMENT, P. (1994). "La difficile évolution des conceptions sur les rapports entre cerveau, idées et âme". In Giordan, A., Girault, Y., Clément, P. (dir.). *Conceptions et connaissances*, (pp. 73-92). Berne : Peter Lang.

- DE BUEGER-VANDER BORGHT, C., & MABILLE, A., (1989). "The evolution in the meanings given by Belgian secondary school pupils to biological and chemical terms". *I.J.S.E.*, 11, 3, 347-362.
- DE VECCHI, G. & GIORDAN, A. (1989). *L'enseignement scientifique : comment faire pour que "ça marche"?* Nice : Z'éditions.
- FABRE, M. & ORANGE, C. (1997). "Construction des problèmes et franchissement d'obstacles". *Aster*, 24, 37-58. Paris : INRP.
- GIORDAN, A. & DE VECCHI, G. (1987). *Les origines du savoir : des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchâtel/Paris : Delachaux et Niestlé.
- GIORDAN, A. & MARTINAND, J.-L. (1988). "État des recherches sur les conceptions des apprenants à propos de la biologie". *Annales de didactique des sciences*, 2, 13-63. Université de Rouen.
- GOIX, M. (1997). "Grandir : oui mais comment ?" *Aster*, 24, 141-170. Paris : INRP.
- GUICHARD, J. & GUICHARD, F. (1997). "Des objets muséologiques pour aider à traiter des obstacles en sciences et techniques". *Aster*, 24, 113-140. Paris : INRP.
- MARZIN, P. (1994). "Analyse de conceptions d'élèves concernant des pratiques sanitaires". *Didaskalia*, 4, 39-55. Paris : INRP/ Université Laval.
- PACCAUD, M. (1994). "Utilisation des conceptions d'élèves âgés de 15 à 17 ans sur le cœur et la circulation sanguine". In Giordan A., Girault, Y., Clément, P. (dir.). *Conceptions et connaissances* (pp. 171-184). Berne : Peter Lang.
- PETERFALVI, B. (1997). "L'identification d'obstacles par les élèves". *Aster*, 24, 171-202. Paris : INRP.
- RENÉ, É. & GUILBERT, L. (1994). "Les représentations du concept de microbe : un construit social contournable ?" *Didaskalia*, 3, 43-60. Paris : INRP/ Université Laval.
- RUMELHARD, G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne : Peter Lang.
- RUMELHARD, G. (1995). "Permanence, métamorphose, transformation". *Bulletin de l'APBG*, 2, 333-344.
- RUMELHARD, G. (1996). "Représentation et travail résistant". *Bulletin de l'APBG*, 4, 753-765.
- RUMELHARD, G. (1997). "Travailler les obstacles pour assimiler les connaissances en biologie-géologie". *Aster*, 24, 13-36. Paris : INRP.

SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1993). "De la représentation en tuyaux au concept de milieu intérieur". *Aster*, 17, 189-204. Paris : INRP.

TORRES CARRASCO, M. (1991). *L'exploration de concepts d'écologie chez les étudiants de première candidature ingénieur civil de l'UCL*. Mémoire inédit, Louvain-la-Neuve.

Modèles et modélisation

HAGUENAUER, C. (1995). "Le recyclage, un concept actuel pour comprendre une science du passé tournée vers l'avenir". *Aster*, 21, 51-80. Paris : INRP.

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

MARTINAND, J.-L. & al. (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.

MARTINAND, J.-L. (1996). "Introduction à la modélisation". *Acte du séminaire de didactique des disciplines techniques*. ENS Cachan.

ORANGE, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF, coll. *L'éducateur*.

RUMELHARD, G. (1992). "Un exemple de modélisation en biologie : les mécanismes de régulation". In Martinand, J.-L. (dir.). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences* (pp. 233-266). Paris : INRP.

RUMELHARD, G. (1994). "Présentation de la recherche". In Rumelhard, G. (coord.), *La régulation en biologie* (pp. 25-38). Paris : INRP .

SCHNEEBERGER, P. (1994). "Place des modèles dans l'enseignement du concept de régulation". In Rumelhard, G. (coord.). *La régulation en biologie* (pp. 131-164). Paris : INRP.

Le rapport à l'expérimental

ASTOLFI, J.-P., CAUZINILLE, E., GIORDAN, A., HENRIQUES, A., MATHIEU, J., WEIL-BARAIS, A. (1984). *Expérimenter : sur les chemins de l'explication scientifique*. Toulouse : Privat.

BEAUFILS, D. & SALAMÉ, N. (1989). "Quelles activités expérimentales avec les ordinateurs dans l'enseignement des sciences ?" *Aster*, 8, 55-80. Paris : INRP.

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

COQUIDÉ, M. (1998). "Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles". *Aster*, 26, 109-132. Paris : INRP.

DARLEY, B. (1996). "Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2^{ème} année". *Didaskalia*, 9, 31-56. Bruxelles-Paris : De Boeck.

DUGGAN, S. & GOTT, R. (1995). "The place of investigations in practical work in the UK National Curriculum for Science". *I.J.S.E.*, 17, 2, 137-147.

GOTT, R. & DUGGAN, S. (1996). "Practical work : its role in the understanding of evidence in science". *I.J.S.E.*, 18, 7, 791-806.

HOFSTEIN, A., COHEN, I., LAZAROWITZ, R. (1996). "The learning environment of high school students in chemistry and biology laboratories". *Research in Science and Technological Education*, 14, 1, 103-116.

LAZAROWITZ, R. & TAMIR, P., (1994). "Research on using Laboratory instruction in Science". *Handbook of research on science teaching and learning*. New York : Mac Millan Publishing Company.

MILLAR, R. (1996). "Investigations des élèves en science : une approche fondée sur la connaissance". *Didaskalia*, 9, 9-30. Bruxelles-Paris : De Boeck.

SALAMÉ, N. (dir.) (1992). *Sciences de la Vie et de la Terre au Lycée. Activités scientifiques informatisées*. Paris : INRP.

SOLOMON, J., DUVEEN, J., HALL, S., (1994), "What's happened to biology investigations ?" *Journal of Biological Education*, 28, 261-268.

WHITE, R. (1996). "The link between the laboratory and learning". *I.J.S.E.*, 18, 7, 761-774.

Rapports au savoir

ALOST, M.-A. (1997). *Sens attribué par des élèves de l'enseignement secondaire supérieur à l'apprentissage des sciences. Construction d'un outil d'analyse*. Mémoire inédit de licence, Louvain-la-Neuve.

Transposition didactique

ASTOLFI, J.-P. (1994). "Transposition didactique". In *Dictionnaire encyclopédique de l'éducation et de la formation*. Paris : Nathan Université.

COQUIDÉ-CANTOR, M. & DESBEAUX-SALVIAT, B. (à paraître). *Chimie et biologie : figures de rencontres*.

DEVELAY, M. (coord.) (1995). *Savoirs scolaires et didactique des disciplines*. Paris : ESF éditeur.

GROSBOIS, M., RICCO, G., SIROTA, R. (1991). "Les manuels, un mode de textualisation scolaire du savoir savant". *Aster*, 13, 59-92. Paris : INRP.

GROSBOIS, M., RICCO, G., SIROTA, R. (1992). *Du laboratoire à la classe, le parcours du savoir : étude de la transposition didactique du concept de respiration*. Paris : ADAPT (SNES).

Aides didactiques

ALLAIN, J.-C. (1995). "Un dispositif didactique utilisant des images pour faire évoluer les conceptions des élèves de dix ans sur les séismes". *Aster*, 21, 109-136. Paris : INRP.

CLÉMENT, P. (1996). "L'imagerie biomédicale : définition d'une typologie et propositions d'activités pédagogiques". *Aster*, 22, 87-126. Paris : INRP.

GAY, A., GRÉA, J., SABATIER, P. (1996). "Images biologiques et activités de diagnostic d'élevage". *Aster*, 22, 195-216. Paris : INRP.

GINSBURGER-VOGEL, Y. & ASTOLFI, J.-P. (1987). "Sur la lecture des manuels de biologie". *Aster*, 4, 33-64. Paris : INRP.

GIORDAN, A., SOUCHON, C., CANTOR, M. (1994). *Évaluer pour Innover. École, Musées et Médias*. Nice : Z'éditions.

GOUANELLE, C. & SCHNEEBERGER, P. (1996). "Utilisation de schémas dans l'apprentissage de la biologie à l'école : la reproduction humaine". *Aster*, 22, 57-86. Paris : INRP.

HAGUENAUER, C. (1995). "Le recyclage, un concept actuel pour comprendre une science du passé tournée vers l'avenir". *Aster*, 21, 51-80. Paris : INRP.

LAVARDE, A. (1994). "Figurabilité dans le domaine de la circulation sanguine". *Didaskalia*, 3, 79-92. Paris : INRP/ Université Laval.

RICHARD-MOLARD, C. (1996). "L'introduction des didacticiels "génétique" dans l'enseignement de premier cycle universitaire". *Didaskalia*, 8, 155-173. Bruxelles-Paris : De Boeck.

Les situations d'apprentissages

ASTOLFI, J.-P., PETERFALVI B., VÉRIN A. (coord.) (1991). *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*. Paris : INRP.

ASTOLFI, J.-P. (1991). "Quelques logiques de construction d'une séquence d'apprentissage en sciences : l'exemple de la géologie à l'école élémentaire". *Aster*, 13, 157-186. Paris : INRP.

CALANDE, G., DE BUEGER-VANDER BORGHT, C., DARO, S., NUTTIN, J., VANHAMME, L. (1990). *Plaisirs des sciences ; didactique des sciences et autonomie dans l'apprentissage. L'immunologie : un prétexte*. Bruxelles/Paris : De Boeck.

CORTEN-GUALTIERI, P. (1995). *Communication de concepts en génétique par le dessin d'humour : analyse sémiologique de dessins parus dans La Recherche, Science et Vie, Science et Avenir : interprétation par un public scolaire (16-18 ans)*. Thèse inédite de Doctorat en Sciences, Louvain-la-Neuve.

DE BUEGER, C. (1996). "La reformulation, ses procédures et ses niveaux". In Raisky, C. et Caillot, M. (éds.). *Au-delà des didactiques, le didactique*. Bruxelles-Paris : De Boeck.

ÉVRARD, Th., HUYNEN, A.-M., DE BUEGER-VANDER BORGHT, C. (1995). "Les procédures de définitions". *Repères*, 5, 119-142. Paris : INRP.

HAMMU, N., (1996). *Interactions verbales en classe de Sciences : adaptation d'un outil d'analyse des opérations cognitives*. Mémoire inédit de licence en sciences, Louvain-la-Neuve.

VAN DER GUCHT, B. (1994). *Évaluation de l'aptitude du dessin d'humour à communiquer des concepts ou des notions scientifiques à des élèves de sixième année de l'enseignement secondaire*. Mémoire inédit de licence, Louvain-la-Neuve.

VÉRIN, A. (1988). "Apprendre à écrire pour apprendre les sciences". *Aster*, 6, 15-46. Paris : INRP.

VÉRIN, A. (1992). "Raisonnement et écriture à propos d'activités expérimentales au collège". *Aster*, 14, 103-126. Paris : INRP.

Planification curriculaire de contenus conceptuels

CAÑAL DE LEÓN, P. (1992). "Quel enseignement sur la nutrition des plantes en éducation "de base" ? Proposition didactique". *Aster*, 15, 7-32. Paris : INRP.

DE VECCHI, G. (1994). "Élaborer des "niveaux de formulation" en prenant en compte les conceptions des apprenants". In Giordan A., Girault, Y., Clément, P. (dir.). *Conceptions et connaissances* (pp. 251-264). Berne : Peter Lang.

GARCÍA, J. E. (1994). "Le savoir scolaire comme processus évolutif : application à la connaissance de notions écologiques". *Aster*, 19, 103-116. Paris : INRP.

HOST, V. et al. (1976). *Activités d'éveil scientifiques, IV : Initiation biologique*. Paris : INRP, coll. *Recherches pédagogiques*, 86.

LALANNE, J. (1985). "Le développement de la pensée scientifique (orientation biologique) chez les enfants de 6 à 14 ans". *Aster*, 1, 155-170. Paris : INRP.

Formation des enseignants. Conceptions des enseignants

ABROUGI, M. (1997). *La génétique humaine dans l'enseignement secondaire en France et en Tunisie, approche didactique*. Thèse de doctorat, Lyon 1.

ANTHEAUME, P. (1994). "Vaincre les résistances des futurs enseignants". In Andries, B., Beigbeder, I. (coord.). *La culture scientifique et technique pour les professeurs des écoles* (pp. 72-78). Paris : CNDP/ Hachette éducation.

CANTOR, M. (1994). "Conceptions des apprenants et formation des élèves-instituteurs". In Giordan, A., Girault, Y., Clément, P., (dir.). *Conceptions et connaissances* (pp. 147-156). Berne : Peter Lang.

CANTOR-COQUIDÉ, M. (1997). "Didactique de la biologie et histoire des sciences". In Rosmorduc, J. (dir.). *Histoire des sciences et des techniques* (pp. 335-346). Brest : CRDP.

DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNÉ, B., RUEL, F. (1993). "La formation à l'enseignement des sciences : le virage épistémologique". *Didaskalia*, 1, 49-68. Paris : INRP/ Université Laval.

GAGNÉ, B. (1994). "Autour de le l'idée d'histoire des sciences : représentations discursives d'apprenti(e)s-enseignant(e)s de sciences". *Didaskalia*, 3, 61-78. Paris : INRP/ Université Laval.

GUILBERT, L. & MELOCHE, D. (1993). "L'idée de science chez des enseignants en formation : un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions ?" *Didaskalia*, 2, 7-30. Paris : INRP/ Université Laval.

LAKIN, S. & WELLINGTON, J. (1994). "Qui enseignera l'épistémologie des sciences ? Conceptions d'enseignants et conséquences pour l'enseignement des sciences". *Aster*, 19, 175-194. Paris : INRP.

LOCK, R. & ALDERMAN, P. (1996). "Using animals in secondary school science lessons : teacher experience and attitude". *Journal of Biological Education*, 30, 2, 112-118.

MABILLE, A. (1994). In De Bueger-Vander Borgh, C. & Delcourt, J. (dir.). *Profils de profs*. Paris/Bruxelles : De Boeck.

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

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

VÉRIN, A. (1998). "Enseigner de façon constructiviste, est-ce faisable ?" *Aster*, 26, 133-163. Paris : INRP.

3. OUTILS INTELLECTUELS UTILISÉS EN RECHERCHE

Représentation spatiale de relations entre concepts

ASTOLFI, J.-P. (1987). "Approche didactique de quelques aspects du concept d'écosystème". *Aster*, 3, 11-18. Paris : INRP.

BRUGUIÈRE, C. (1997). *Contribution à l'identification des réseaux conceptuels associés à l'enseignement/apprentissage de l'énergie*. Thèse de doctorat, Montpellier II.

DE BUEGER-VANDER BORGHT, C., LAMBERT, J. (1994). "Des représentations spatiales de concepts : pour quoi faire ?". *Didaskalia*, 5, 73-90. Paris : INRP/ Université Laval.

JACOBI, D., BOQUILLON, M., PRÉVOST, P. (1994). "Les représentations spatiales de concepts scientifiques : inventaire et diversité". *Didaskalia*, 5, 11-24. Paris : INRP/ Université Laval.

SAUVAGEOT, M. (1994). "Les trames conceptuelles, outils de formation en didactique de la biologie". *Didaskalia*, 5, 91-104. Paris : INRP/ Université Laval.

4. DÉBAT

ASTOLFI, J.-P. (1994). "Didactique plurielle des sciences. Analyse contrastée de quelques publications de recherche". *Aster*, 19, 7-28. Paris : INRP.

LUCAS, A. (1993). "Jouer les notes sans connaître la mélodie : le caractère étroit de la recherche en didactique de la biologie". *Didaskalia*, 1, 101-113. Paris : INRP/ Université Laval.

**THÈSES EN DIDACTIQUE DE LA BIOLOGIE ET DE LA GÉOLOGIE ET
LEURS TECHNIQUES ASSOCIÉES**

(1988-1997)

1988

GUEYE, B. *Analyse didactique de l'épreuve en biologie au Bac C et D de 70 à 85 au Sénégal*. Paris 7.

PEREIRA HENRIQUES DE FRIAS, T.M. *Enseigner la biologie de façon intégrée à des élèves de 10 à 12 ans dans des écoles portugaises : méthodologie scientifique, préalables*. UCL Louvain-la-Neuve.

1989

DUCROS, B. *Le concept de circulation sanguine : production d'outils didactiques*. Paris 7.

HUBERT VAN BLYENBURGH, N. *Une étude du décalage entre les connaissances du public et le savoir scientifique en biologie humaine : évaluation des conceptions, analyse des obstacles et réalisation d'aides didactiques*. Genève.

GIRAULT, Y. *Contribution à l'étude de la bande dessinée comme outil de vulgarisation scientifique*. Paris 7.

1990

GUICHARD, J. *Diagnostic didactique pour la conception d'objets d'exposition*. Genève.

NDIAYE, V. *Évaluation de l'utilisation de la vidéo dans les Travaux Pratiques universitaires de biologie*. Lyon 1.

NEDJEL-HAMMOU, A. *Contribution à une didactique fondée sur l'analyse de l'erreur dans l'enseignement de la biologie : les obstacles rencontrés par les élèves de terminales dans la maîtrise du concept de réflexe*. Paris 7.

RAICHVARG, D. *400 ans de diffusion de la science par le spectacle (1580-1980). Formes, objectifs, moyens*. Paris 7.

SARR, M. *Étude critique d'un thème d'éducation relative à l'environnement. L'utilisation rationnelle et la gestion des ressources naturelles.* Paris 7.

1991

HAGUENAUER, C. *Le concept de cycle, indicateur de la connaissance. Des sciences de la nature à l'écologie forestière.* Nancy 1.

SAUVAGEOT, M. *Les obstacles posés par l'enseignement des concepts d'alimentation et de nutrition au collège. Obstacles à la compréhension du concept de digestion au collège.* Paris 7.

1992

CANTOR-COQUIDÉ, M. *Félix-Archimède Pouchet, savant et vulgarisateur.* Paris 11.

CASONATO, O. *Les obstacles dans la recherche et dans l'enseignement à la connaissance du support moléculaire de l'"information" génétique.* Paris 7.

DARLEY, B. *L'enseignement de la démarche scientifique dans les travaux de biologie à l'Université. Analyses et propositions.* Grenoble 1.

DA SILVA CARNEIRO, M.-H. *Étude des représentations dans le domaine de la reproduction et du développement. Construction progressive de ces concepts chez les enfants de l'école primaire de Brasilia-Brésil.* Paris 7.

LAVARDE, A. *Contribution à l'étude de la schématisation dans l'enseignement de la circulation sanguine.* Paris 7.

SCHNEEBERGER, P. *Problèmes et difficultés de l'enseignement d'un concept transversal : le concept de régulation.* Paris 7.

1993

ANTHEAUME, P. *Contribution à la définition des objectifs spécifiques et des activités spécifiques de formation professionnelle d'enseignants non spécialistes dans une discipline scientifique : la Biologie.* Paris 7.

FORTIN, C. *L'évolution : du mot au concept. Étude épistémologique sur la construction des concepts évolutionnistes et les difficultés d'une transposition didactique.* Paris 7.

KASSOU, S. *Éléments pour l'analyse didactique du statut de l'expérience dans l'enseignement de la biologie : le cas de la photosynthèse.* Paris 7.

MARZIN P. *Approche didactique de la communication des savoirs dans une situation de conseil vétérinaire. Analyse des conceptions dans le dialogue.* Lyon 1.

PAPADOGEORGI, P. *Difficultés pédagogiques liées au problème d'articulation entre le savoir théorique et le savoir pratique dans l'enseignement agricole grec.* Paris 7.

TRIQUET, É. *Analyse de la genèse d'une exposition de science, pour une approche de la transposition médiatique.* Lyon 1.

VISINET-FORESTIER, J. *Étude didactique d'une innovation liée à l'utilisation d'un système expert d'aide au diagnostic en formation initiale et continue dans l'enseignement agricole.* Lyon 1.

1994

JEBBARI, S. *Schéma et schématisation : étude de quelques difficultés des élèves en biologie.* Paris 7.

ORANGE, C. *Intérêt de la modélisation pour la définition de savoirs opérants en biologie-géologie. Exemple de la modélisation compartimentale au lycée.* Paris 7.

1995

BOMPIS-DARTOUT, A. *Genèse et fonctions pédagogiques du Musée de site des Pierres folles, dans la vallée de l'Azergues.* Lyon 1.

CORTEN-GUALTIERI, P. *Communication de concepts en génétique par le dessin d'humour : analyse sémiologique de dessins parus dans la Recherche, Science et Vie, Science et Avenir ; interprétation par un public scolaire (16-18 ans).* UCL Louvain-la-Neuve.

DELALANDE-SIMONNEAUX, L. *Approche didactique et muséologique des biotechnologies de la reproduction bovine : conception d'éléments de préfiguration d'une exposition scientifique et effet d'une modification linguistique sur la reconnaissance du message*. Lyon 1.

GARDELLI, S. *Formation continue des professeurs en Grèce pour l'éducation relative à l'environnement : évaluation d'un stage pluridisciplinaire, proposition pour un plan de formation*. Genève.

GAY, A. *Étude didactique de situations de construction collaborative de diagnostics d'élevage. Intérêt de didacticiels hypermédias pour la communication interprofessionnelle et l'opérationnalisation des savoirs théoriques*. Lyon 1.

LE MOIGNE, H. *Erreurs, décalages et ajustements dans le processus enseignement/apprentissage, lors de cours de Biologie, en classes de sixième et de cinquième*. Nantes.

LIARAKOU-FISCHER, G. *Éducation environnementale : quelle problématique écologique pour quelle éducation*. Paris 5.

RKHA, S. *Éléments pour des problèmes didactiques spécifiques en éducation pour l'environnement*. Paris 7.

ROLETTTO, E. *La nature du savoir scientifique : points de vue d'enseignants et de futurs enseignants*. Montpellier 2.

THOUMY, A. *Effets d'une formation sur les obstacles à la pratique du raisonnement expérimental chez les enseignants de biologie au Liban*. Paris 7.

ZIAKA, Y. *L'éducation à l'environnement pour les adultes à travers les médias ; aspects didactiques dans le cas de la presse écrite*. Paris 7.

1996

BOILLOT-GRENON, F. *L'évaluation, moteur de l'innovation : processus de conception d'un livre-jeu d'éducation et de vulgarisation environnementales*. Genève.

DELTOUR, N. *Étude exploratoire de l'influence relative des facteurs scolaires et extra-scolaires sur le changement conceptuel en sciences : contribution à la problématique des conceptions dans l'enseignement secondaire*. Université de Liège.

GAGLIARDI, R. *Une éducation à l'environnement pour un développement durable*. Genève.

GOIX, H. *Difficultés d'apprentissage des concepts de cristal et de magmatisme chez les élèves de collège : aspects historiques et didactiques*. Paris 7.

GOIX, M. *Les concepts de croissance et de développement : obstacles et représentations chez les élèves de collège ; propositions de situations didactiques pouvant faciliter l'apprentissage*. Paris 7.

LE MAREC, J. *Le visiteur en représentations. L'enjeu des évaluations préalables en muséologie*. Saint-Étienne.

MATHY, P. *Les choix épistémologiques, les idéologies et les valeurs dans les manuels de biologie : production d'instruments d'analyse pour la formation d'enseignants*.

OBERLIN, A. *Le public au centre de l'exposition scientifique et technique*. Genève.

1997

ABROUGI, M. *La génétique humaine dans l'enseignement secondaire en France et en Tunisie, approche didactique*. Lyon 1.

BOYER C. *Conceptualisation de la reproduction végétale à l'école primaire*. Paris 5.

BRUGUIÈRE-VERSEILS, C. *Contribution à l'identification de réseaux conceptuels associés à l'enseignement-apprentissage de l'énergie. L'enseignement-apprentissage de l'énergie pris dans un contexte pluridisciplinaire et une problématique environnementale*. Montpellier 2.

DESBEAUX-SALVIAT, B. *Un modèle biochimique, le cycle de Krebs : découverte, diffusion, enseignement à l'université et au lycée*. Paris 11.

FAVRE, D. *Des neurosciences aux sciences de l'éducation : contribution à une épistémologie de la variance*. Lyon 2.

KALALI, F. *Étude et analyse des stratégies de motivation dans l'enseignement et la vulgarisation de la biologie*. Paris 7.

PRÉVOST, P. *Le concept de régulation biologique et la formation professionnelle des agriculteurs. Études didactiques*. Lyon 1.

REYNAUD, C. *Contribution à la formulation et à la communication d'un concept d'écologie des milieux littoraux : les écosystèmes paraliques. Interprétation épistémologique et propositions didactiques*. Montpellier 2.

1998

BAZILE, J. *Éléments pour la formation à l'hygiène des opérateurs sans qualification du secteur agro-alimentaire*. Paris 7.

SANTÉ ET POUVOIR DE RÉTABLISSEMENT

Concept populaire, concept scientifique, concept socio-politique : une analyse en vue d'une éducation

Guy Rumelhard

Une alliance étroite de la biologie et de la médecine tend à faire croire qu'il existe une science de la santé. On peut au contraire la définir comme une notion populaire, en dehors de tout savoir, ou bien comme un phénomène social total, donc comme un concept socio-politique.

Ce texte présente des éléments de réflexion qui permettront de définir plusieurs objectifs possibles pour une éducation à la santé.

la santé,
une valeur?

En tant qu'enseignant de Sciences de la Vie on doit se demander si la santé est un concept scientifique, c'est-à-dire s'il a un contenu positif factuel résultant d'expérimentations au laboratoire, à l'hôpital et dans la population, qui mérite d'être enseigné.

De plus, puisque l'on précise "éducation à (ou pour) la santé", on doit aussi se demander si la santé est une valeur ce qui constituerait une deuxième raison pour la faire figurer dans un programme d'enseignement. On peut remarquer que si l'on dit "éducation physique et sportive" on ne dit pas éducation à la physique ou à la biologie, mais on précise éducation scientifique ou à l'environnement.

Les sciences biologiques produisent un savoir-vrai qui est aussi, bien souvent, un savoir-utile. Y a-t-il donc une vérité scientifique de la santé organique qui permettrait, de manière pratique, de la conserver, de la rétablir (c'est-à-dire de guérir), et éventuellement de l'améliorer? Compte tenu des progrès des neurosciences, on peut se poser les mêmes questions à propos de la santé mentale. On se demandera également si la diffusion de ce savoir doit être très large (vulgarisation) ou bien au contraire restreinte à un groupe de spécialistes dont la compétence est garantie.

On peut immédiatement constater que les termes de santé et de guérison (au sens de pouvoir spontané de rétablissement) ne figurent pas dans un traité de physiologie humaine ni dans les divers traités de biologie.

une fonction de
conservation

On y trouve par contre la description de fonctions de conservation :

- maintien des constantes physiologiques (pression artérielle, glycémie, natrémie, etc.) grâce à divers mécanismes de régulation (homéostasie) en dépit des variations du milieu (alimentation, température, altitude, etc.);

- résistance aux "agressions" du milieu grâce au système immunitaire et aux mécanismes du stress.

et une fonction de création

Dans les deux cas il s'agit de relation au milieu et l'analyse du fonctionnement doit être différenciée selon le type d'activité humaine : travail, sport, milieux extrêmes.

On décrit également, au chapitre génétique, une fonction de création d'innovations (mutations au sens large) permettant une adaptation à des milieux nouveaux ou une modification de son milieu.

Dans tous les cas il apparaît une rubrique "maladie" ou "anomalies" et on distingue alors un fonctionnement pathologique à côté du fonctionnement normal.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé la définition de la santé serait : *"la santé est un état de complet bien-être physique, moral et social, ne consistant pas seulement en l'absence d'infirmité ou de maladie"*. L'OMS parle également d'un *"droit à la santé"*, comme droit imprescriptible des hommes dans sa déclaration de Alma-Ata.

la santé comme absence de maladie

Si la santé n'est que l'absence de maladie, elle n'a pas de contenu positif, ou plus exactement on est alors tenté de remplacer le terme de santé par l'ensemble des chapitres des traités de biologie et de médecine. Le médecin associé étroitement au biologiste devient alors le spécialiste autorisé à agir au nom de la santé. Cette vision est trop restrictive.

Si la santé est le bien-être moral et surtout social, si la santé devient un droit, voire un droit premier et absolu, elle proclame en définitive un droit au bonheur. On ne voit pas alors quelle organisation sociale ou politique détient cette définition du bonheur ni surtout, les moyens de l'assurer!

Nous voudrions montrer qu'il y a à la fois plus et moins que cette définition de l'OMS. Santé et maladie ne s'excluent pas l'une l'autre. Santé et maladie ne s'identifient pas à normal et pathologique.

1. UNE NOTION "POPULAIRE" ET "A PRIORI" DE LA SANTÉ

qu'est-ce qu'une notion populaire

Nous nous demanderons en premier si l'on peut définir la santé sans référence à un savoir scientifique explicite. C'est ce que veut traduire le terme de "populaire" (on pourrait également dire notion "vulgaire" si le terme n'était pas dévalorisé). La question de l'existence d'un "savoir populaire" et d'un "art populaire" est largement débattue. Il ne s'agit pas de savoir scientifique vulgarisé et plus ou moins déformé ou, bien souvent, obsolète. Il ne s'agit pas de simples trivialités. Dans notre cas "populaire" (ou vulgaire) signifie simplement "à la portée de tous", en dehors de tout enseignement explicite.

1.1. Quelques formulations populaires

On peut s'appuyer sur les enquêtes de Claudine Herzlich (1969) qui visaient à caractériser une représentation sociale. En ce sens elle ne porte pas de jugement sur l'origine des réponses qu'elle obtient. Elle s'intéresse aux conduites induites par ces représentations et à leur rôle dans la construction et la transformation de la réalité sociale. On peut cependant en extraire des formulations qui illustrent notre propos.

• **La santé c'est ne pas être malade**

L'expression vient fréquemment : *“la santé ce n'est strictement rien de positif, c'est simplement de ne pas être malade”, “c'est l'absence de maladie”.*

• **La santé c'est une absence de conscience du corps**

“Le fait de ne pas avoir de corps pour ainsi dire, s'il ne vous gêne en rien, la santé au fond c'est une absence”, “la santé c'est en somme de vivre sans se rendre compte que le temps passe”.

une absence
comme
plénitude

Mais il ne s'agit pas d'une absence comme manque ou comme vide, mais plutôt comme plénitude.

• **La santé c'est un état de fait, une donnée immédiate**

Elle ne résulte pas d'un mode de vie ou de diverses interactions avec l'environnement et la société. On ne saurait en décrire la genèse.

L'expérience vécue de la santé comme absence ou non conscience ne se traduit que très pauvrement dans le vocabulaire ou les images. Mais comme il faut bien des mots pour parler, certains termes tel le mot “équilibre” permettent la communication en dehors de toute connaissance précise. Équilibre a un sens technique (la balance) et un sens scientifique (équilibres chimiques...) qui donnent l'impression d'un contenu précis aux définitions de la santé comme “équilibre”.

Dire d'une personne qu'elle “porte” la santé sur son visage, ou qu'elle “respire” la santé donne l'impression que la santé est un observable. Mais bien plus qu'un état, “bien se porter” est une valeur, un sentiment d'assurance dans la vie. “Valere” qui a donné valeur signifie en latin se bien porter.

l'image
de l'athlète

Parmi les images il est fréquent de représenter la santé sous les apparences d'un athlète, le célèbre discobole par exemple. Et pour ne pas être accusé de confondre santé et jeunesse, on pourrait ajouter l'image d'un beau vieillard centenaire. Cette image du sportif ajoute implicitement l'idée d'un dépassement qui ne s'assigne de lui-même aucune limite, à condition de ne pas inclure les procédés de dopage nocifs.

• **Éprouver, prouver sinon même mesurer la santé**

Si les fonctions physiologiques s'accomplissent insensiblement, sans être ressenties, c'est la douleur qui fait connaître le plus souvent la maladie et l'importance de la santé. La santé apparaît alors comme pouvoir immatériel de résistance aux maladies, un pouvoir de rétablissement. La maladie permet en quelque sorte de tester ce pouvoir de résistance sinon même de le mesurer. On parle alors de santé fragile, précaire, bonne, mauvaise. La santé devient un concept descriptif susceptible d'être qualifié. Ainsi la maladie ne remplace pas la santé. Bien au contraire "la santé c'est ce qui permet de guérir quand on a une maladie grave".

Si la santé est une capacité virtuelle, elle est décrite concrètement comme un "fond" (fond de santé), un "capital". C'est donc bien une valeur, au double sens du mot.

• **La santé donne une marge de liberté**

Le terme d'équilibre paraît induire l'idée d'un juste milieu raisonnable qui se tient loin des excès. Mais de nombreuses expressions relevées par C. Herzlich disent le contraire. Être en équilibre c'est pouvoir user de son corps jusqu'à en abuser; c'est pouvoir tout se permettre; "*c'est pouvoir faire n'importe quel effort, faire du sport, veiller, ne pas se sentir fatigué...*" "*c'est la possibilité d'excès, d'abus*". On peut par exemple se demander, à propos des alpinistes qui tentent de gravir les sommets supérieurs à 8 000 mètres, "*quel secret vital se cache derrière cette envie téméraire de respirer au-delà des limites autorisées par les poumons?*"

la possibilité
d'excès

En ce sens la maladie est une réduction de cette marge de possibilités. La bonne santé c'est d'obtenir la moindre réduction possible. C'est l'image du sportif handicapé qui est peut-être encore meilleure que celle de l'athlète : c'est faire quand même du ski pour un unijambiste. C'est le concerto pour la main gauche demandé à Maurice Ravel par le pianiste Wittgenstein après avoir perdu le bras droit à la guerre.

le sportif
handicapé

On vit en général en deçà de ses possibilités, mais la santé est l'assurance de pouvoir surmonter les difficultés si elles se présentent. "*Être en bonne santé c'est pouvoir tomber malade et s'en relever, c'est un luxe biologique.*"

La santé perçue comme "faveur latente", comme luxe ou surplus, ou surabondance peut sembler être l'expression d'un finalisme naïf volontiers attribué à la pensée populaire. Elle relève d'une intuition immédiate qui se constitue par avance, avant toute mise à l'épreuve. Par ailleurs on montrera que le concept de "luxe biologique" n'a pas la résonance morale courante. Il désigne une donnée de première et élémentaire nécessité. Il n'y a pas trop de rein, trop de poumon, trop de cerveau... ni trop de santé.

la capacité
de suivre
de nouvelles
normes

• **La santé est une norme qui guide l'existence**

Mais ce n'est pas une norme que l'on peut décrire de manière fixe, immuable, qualifiable sinon quantifiable. Si la santé réside dans la capacité de résistance, de dépassement, d'abus ou de moindre réduction des marges d'autonomie en cas de maladie elle désigne le sens d'une dynamique mais pas un état. La santé est dans la capacité de suivre de nouvelles normes, autrement dit d'être normative. Nous reviendrons sur la signification philosophique du mot norme, et sur la normativité du vivant.

• **Le bien-être moral et social**

En dehors du bien-être physique, quelques phrases recueillies par C. Herzlich lors de son enquête soulignent le bien-être psychologique comme égalité d'humeur, comme aisance et efficience dans l'activité, comme bonne relation avec autrui ? Aucune n'évoque le bien-être social au sens économique du terme.

1.2. Quelques formulations de philosophes et psychanalystes

la vie dans
le silence
des organes

La santé est un thème philosophique fréquent à l'époque classique et au Siècle des Lumières. Il est abordé presque toujours par référence à la maladie. L'absence de maladie est généralement tenue pour l'équivalent de la santé. La définition proposée par le chirurgien René Leriche les condense bien : *"la santé c'est la vie dans le silence des organes"*.

Dans la série des philosophes qui va de Descartes à Canguilhem en passant par Leibniz, Diderot et Kant nous retiendrons d'abord les deux derniers cités :

"Quand on se porte bien aucune partie du corps ne nous instruit de son existence ; si quelqu'une nous en avertit par la douleur c'est à coup sûr, que nous nous portons mal ; si c'est par le plaisir, il n'est pas toujours certain que nous nous portons mieux." (Diderot, 1751)

"Ce sont les maladies qui ont poussé à la physiologie ; et ce n'est pas la physiologie, mais la pathologie et la clinique qui firent commencer la médecine. La raison est que le bien-être, à vrai dire, n'est pas ressenti, car il est simple conscience de vivre et que seul son empêchement suscite la force de résistance." (Kant, 1798)

"On peut se sentir bien portant, c'est-à-dire juger d'après son sentiment de bien-être vital, mais l'on ne peut jamais savoir que l'on est bien portant... L'absence du sentiment d'être malade ne permet pas à l'homme d'exprimer qu'il se porte bien autrement qu'en disant qu'il va bien en apparence." (Kant, 1798)

Ces remarques retrouvent, dans leur apparente simplicité, la notion populaire de la santé. Kant fait de la santé un objet

la santé, un objet
hors du savoir

hors du champ du savoir. En durcissant l'énoncé nous dirons qu'il n'y a pas de science de la santé. De quel type de connaissance relève alors cette définition populaire ?

Descartes avait proposé le concept d'"évidence", et Kant celui de "connaissance *a priori*" (1781). L'expression adverbiale "*a priori*" signifie couramment : "à première vue", mais il ne s'agit pas de cela. Kant oppose les connaissances *a posteriori* qui résultent d'une recherche empirique ou expérimentale et les connaissances *a priori* qui relèvent d'une intuition immédiate. Pour lui les concepts d'espace, de temps, de cause ne seraient pas des concepts conçus et construits pour tenter d'expliquer le fonctionnement de la nature et des êtres vivants, mais des catégories de la pensée présentes *a priori* et que l'on applique en quelque sorte sur les objets.

contre
l'apriorisme
kantien

Piaget refuse les diverses formes de nativisme et en particulier l'apriorisme kantien. Il refuse de voir dans la connaissance la projection sur la réalité des structures transcendantales de l'esprit humain. Pour lui l'origine de la connaissance se situe dans l'activité pratique et cognitive du sujet. Le sujet ne connaît qu'en agissant sur les objets. Connaître c'est faire.

Canguilhem refuse les diverses formes de nativisme et en particulier l'apriorisme kantien mais pour une raison différente. Pour lui l'*a priori* du temps, de l'espace, de la cause est dans la culture d'une époque. La perception humaine est intimement guidée par les types d'activité humaine. Le mot organe par exemple marque le trajet qui va de la machine à l'organisme. Les machines servent de modèle pour penser et comprendre le vivant. Le mot organe vient de la technique et de la musique (l'orgue). Mais la liaison est tellement intime que bien souvent on pense l'inverse : on parle des organes d'une machine par imitation de l'organisme vivant. Par contre pour Canguilhem la santé relève d'une connaissance *a priori* :

la santé,
un *a priori*
propulsif

"La santé c'est la condition a priori latente, vécue dans un sens propulsif, de toute activité choisie ou imposée." (1978, p. 18)

"La santé c'est l'a priori du pouvoir de maîtriser des situations périlleuses." *"Il faut reconnaître explicitement, dans l'épreuve de la guérison, la nécessaire collaboration du savoir expérimental avec le non-savoir propulsif de cet a priori d'opposition à la loi de dégradation, dont la santé exprime un succès toujours remis en cause."* (1978, p. 25)

Dans cette mesure la santé, qui n'a pas de contenu positif précis, est sans représentation. Insistons un instant à cause de l'extraordinaire développement du concept de représentation en didactique des sciences. La représentation nous conduit en permanence vers la positivité d'un "savoir" ayant un "contenu", et vers la positivité d'un comportement : "comment faire, comment agir dans telle situation, vis-à-vis de telle représentation ?"

Le biologiste ne devrait pas être désarçonné par ces notions sans représentation ni savoir puisqu'il rencontre, par-delà le besoin, le désir; par-delà les mécanismes physiologiques de la vie, le fait nu de la souffrance et de la mort; par-delà les possibilités d'intervention dans la reproduction et l'hérédité humaine, le fait nu de l'interdit. Il est vrai qu'il laisse volontiers l'analyse de ces questions aux philosophes et aux psychanalystes. Le désir est simplement absence et manque; il n'y a pas de savoir sur la souffrance et la mort mais simplement une écoute attentive et un consentement; il n'y a pas d'explication ni de justification des interdits fondamentaux qui structurent l'existence. Mais il est vrai que si le biologiste intervient c'est en confondant besoin et désir, ou bien en donnant un "contenu" positif au désir. Il intervient pour diminuer ou supprimer la souffrance et rechercher les causes de la mort et pour en retarder l'échéance; pour justifier génétiquement les interdits ou les transgresser.

Pour le dire autrement, la santé n'est pas un objet d'étude, ni un problème, c'est une donnée de fait immédiat. Insistons également un instant à cause de la grande vogue didactique du "constructivisme". *"Rien n'est donné, tout est construit"* disait G. Bachelard pour lutter contre certaines formes d'empirisme qui avaient leur traduction pédagogique. Mais il s'agit de physique! Le corps vécu n'est pas un problème tant qu'il est en bonne santé. C'est la souffrance et la maladie qui posent problème et demandent la médiation du médecin et le détour du laboratoire. *"Il faut que la vie soit une donnée pour qu'on puisse croire sa possibilité nécessaire."* (Canguilhem, 1978, p. 21). À travers les guérisons spontanées, les pouvoirs de régulation et d'immunisation sont un fait vécu sans problème.

un fait vécu
sans problème

L'expérience vécue par les malades de la maladie et de la guérison semble suggérer d'elle-même l'hypothèse d'un pouvoir organique de restitution et de réintégration. L'existence d'un pouvoir d'auto-conservation par auto-régulation est une donnée de fait indubitable que l'on pourra, par la suite, décomposer en mécanismes.

Il faudrait citer ici quelques psychanalystes parmi lesquels : Georg Groddeck, René Allendy, René Lafforgue, Daniel Lagache, Françoise Dolto, Jean-Paul Valabrega, Michaël Balint et le numéro 17 de la *Nouvelle Revue de Psychanalyse* (1978) totalement consacré à l'idée de guérison.

"La santé c'est la capacité de faire face; la guérison est le signe d'une capacité retrouvée par le patient d'en finir lui-même avec ses difficultés. La guérison n'est pas commandée de l'extérieur elle est une initiative reconquise, puisque la maladie n'est pas tenue pour un accident, mais pour un échec de conduite, sinon une conduite d'échec."

"Ce n'est pas le médecin qui vient à bout de la maladie, mais le malade. Le malade se guérit lui-même par ses propres forces, comme c'est pas ses propres forces qu'il marche, mange, pense, respire, dort."

la capacité
de faire face

instaurer
de nouvelles
normes

“La santé occupe une position centrale parce qu'elle est la condition de toutes les autres conditions d'exercice de la vie.”
“La santé c'est la capacité non seulement de conserver ou de restaurer la normalité, les normes qui la constituent, mais encore de les dépasser et d'en instaurer de nouvelles.” La normalité consiste à être normatif, à pouvoir inventer de nouvelles façons de vivre. Ce que Canguilhem nomme la normativité du vivant.

La santé n'est pas non plus une catégorie chronologique habituelle au sens où on pourrait la définir avant d'être malade ou la mesurer après avoir été malade. Elle agit par avance, par anticipation. Elle confère une assurance et une confiance dans la vie avant même d'avoir été mise à l'épreuve. Mais par ailleurs elle est toujours “en attente” de sa mise à l'épreuve nécessaire et inévitable. Épreuve de vérité, on peut dire que la santé est la “vérité du corps”.

1.3. Une éducation à la santé-libre

la santé-
propulsive

Compte tenu des analyses précédentes on peut dire qu'il n'y a pas à proprement parler d'éducation à la santé. Plus exactement il ne faudrait plus employer le mot santé seul sans l'accompagner d'un qualificatif. Canguilhem propose de dénommer cette conception *a priori* la “santé-libre”, ou la “santé-propulsive”.

On ne parlera alors d'éducation que pour la guérison ou la santé publique, ce que nous développerons par la suite.

On peut cependant expliquer que le droit à la santé est une illusion. D'ailleurs le médecin n'a pas de devoir de réussite, mais seulement en termes juridiques, un devoir de compétence appréciée par les pairs et un devoir de moyens. Pour la population la question est celle de l'accès à des soins de qualité.

De plus, en proclamant un “droit à la santé” (comme d'autres proclament un droit à la réussite scolaire!) est-on sûr de ne pas susciter une maladie obsessionnelle de la santé? C'est une forme de maladie que de s'estimer frustré, par le mode actuel d'exercice de la médecine, de la santé qu'on mérite. Une chose est d'obtenir la santé qu'on croit mériter, autre chose est de mériter la santé qu'on se procure.

On peut également expliquer les deux risques qui découlent de la prise de conscience de cette santé sans contenu de savoir.

mépriser
les notions
populaires

- D'un côté il y a risque de mépriser, au nom du savoir médical, cette conception populaire et philosophique de la santé. D'ailleurs la vie dans le silence des organes est souvent trompeuse. C'est l'évolution initiale de la maladie qui est “silencieuse”. Il existe des “porteurs sains” de maladies virales. Et pour imiter le Dr Knock on peut dire que la santé est un état provisoire et précaire qui ne présage rien de bon.

la santé
sauvage

- D'un autre côté le risque est de développer le très vieux thème du "médecin de soi-même", de la santé sauvage qui peut se ressourcer dans "la nature". Cette tendance dérivée d'un écologisme naïf est bien souvent antirationaliste. Elle plaide avec des arguments triviaux pour une démedicalisation de la santé.

2. UN CONCEPT SCIENTIFIQUE DE LA SANTÉ ORGANIQUE

L'*a priori* que nous venons d'analyser est décomposable *a posteriori*, par la science en une pluralité de constantes dont les maladies représentent un écart de variation supérieur à une norme déterminée par une moyenne. Il ne saurait être question, dans cet article de faire plus que d'énoncer les thèmes qu'il faudrait longuement développer.

2.1. Le réductionnisme scientifique et ses limites

• La méthode scientifique implique une étape réductionniste indispensable mais provisoire. Le travail scientifique consiste, en biologie, à mettre entre parenthèses :

les caractères du
réductionnisme

- le qualitatif au profit du quantitatif chaque fois qu'il est possible de mesurer ou de classer sur une échelle,
- la subjectivité des individus au profit de tests permettant d'objectiver les observations,
- l'étude des individus eux-mêmes au profit de populations et d'observations statistiques,
- les questions de finalité et d'utilité,
- les questions du sens (par exemple le sens de la souffrance).

L'organisme est analysé c'est-à-dire décomposé en un ensemble de mécanismes agencés comme dans une machine, avant d'être recomposé comme un tout formant système.

Le psychique et le somatique sont traités comme des entités séparées, avant d'être difficilement réunis dans une synthèse psychosomatique perpétuellement discutée.

Les normes physiologiques ne peuvent être définies que comme des moyennes statistiques et la médecine, pour devenir scientifique, tente de décrire les maladies comme des variations quantitatives en plus ou en moins. La maladie n'est plus décrite comme une incarnation du "mal" mais comme déviation en hypo ou hyper (hypertension, hyperglycémie, hyperthyroïdie, etc.). De même les maladies génétiques ne sont que des "erreurs" de synthèse biochimique.

• Une première série de limites apparaît dans la mesure où la physiologie n'est pas la science d'un objet constant, immuable et entièrement accessible au laboratoire. Les fonctions organiques restent pour partie latentes et ne s'ex-

la physiologie
s'applique

priment que dans des situations précises (milieux extrêmes par exemple). La physiologie est une science qui doit s'appliquer à toutes les situations et les conditions d'existence et pas seulement "au Mammifère qui vit en nous dans le cadre d'un laboratoire".

Le vivant ne se contente pas de "subir" son milieu, il le transforme aussi et il invente de nouvelles normes de fonctionnement. En ce sens certaines maladies sont un nouveau mode de fonctionnement y compris biochimique (cas du diabète par exemple) et pas seulement une déviation.

L'efficacité des médicaments est garantie par des essais comparatifs statistiques. Mais il faut désormais prendre en compte l'effet placebo et toutes les interactions psychosomatiques. Les allergies, l'asthme, les maladies de peau sont des maladies vicariantes, sans parler des maladies dites "nerveuses". Il faut donc prendre en compte la relation inter-subjective médecin-malade.

- Par ailleurs si le vivant est décrit comme un système intégré, comportant donc nécessairement transfert d'information, d'énergie et mécanismes de régulation, il obéit aux principes de la thermodynamique. Ce système n'est pas fermé mais ouvert sur son milieu. Il est en déséquilibre dynamique incessamment compensé. Il est également soumis au second principe de la thermodynamique c'est-à-dire à la loi générale d'irréversibilité et de non-retour à un état antérieur. Toutes les vicissitudes d'un organisme sain ou malade sont affectées du stigmate de la dégradation.

il est normal de
tomber malade

Les relations d'un organisme avec son milieu n'obéissent pas à la logique des lois physiques, mais à celle des événements qui peuvent survenir ou non. Le pot de fleur tombe d'un balcon selon la loi de gravitation, mais la présence d'un passant sur le trottoir est accidentelle. Selon ce principe de dégradation il est donc normal de tomber malade de manière événementielle non pas par une mauvaise destinée mais par simple présence de l'organisme dans son milieu. Il est également normal de guérir spontanément puisque des mécanismes de régulation s'emploient à retarder cette dégradation, mais sans garantie de succès.

On peut ajouter qu'il y a un risque normal, inévitable de maladies génétiques à cause de la logique des combinaisons aléatoires, et de leur actualisation biochimique chez un individu donné. Le risque d'un choc anaphylactique en réaction aux produits nécessaires à l'anesthésie lors d'une opération résulte de l'extrême polymorphisme des individus et de leur histoire personnelle. Tout test biologique de détection d'un virus par exemple présente le risque de faux positif ou de faux négatif non par erreur du biologiste mais à cause de la complexité biologique. Cette pédagogie du risque de tomber malade, de naître anormal, du risque opératoire qui conduit à tenter, sans se décourager de "guérir la vie", induit aussi parfois de fantasme de "guérir de vivre".

2.2. On ne peut éliminer la subjectivité individuelle ni la dimension socio-politique

La mise entre parenthèses provisoire que nous évoquions tend à devenir, aux yeux des biologistes scientifiques, définitive. Mais sans jouer du paradoxe, si l'organisme n'est qu'une machine composée de mécanismes on peut objecter qu'une machine ne tombe pas malade ni ne meurt.

un complexe
techno-
administratif

En tous les cas le médecin quant à lui ne peut se comporter uniquement comme un technicien compétent vis-à-vis d'un mécanisme dérangé, comme une sorte d'agent d'exécution. Il est devenu hélas classique de décrire l'hôpital comme une "machine à guérir", comme un complexe techno-hospitalo-administratif. La technicisation de la médecine privilégie les tests de laboratoire, les appareils sophistiqués d'imagerie et d'intervention, les chiffres et les listings d'ordinateur.

Que la maladie soit organique, fonctionnelle, psychosomatique, névrotique ou psychotique, elle s'accompagne d'angoisse. Le séjour du jeune enfant à l'hôpital s'accompagne d'hospitalisme. Le porteur sain du virus HIV ne peut garder les yeux rivés sur les chiffres de sa "charge virale" et les fluctuations des T4 sans angoisse qui le maintient dans un état "d'alerte permanente". Mais le stress n'est pas mesurable, pas même repérable sur une échelle car tout dépend de la signification que prend l'événement pour tel individu donné à un moment donné.

l'angoisse de
ségrégation

Les discussions sur la diminution historique de la tuberculose et sa réaugmentation récente, sur l'influence de la vaccination par le BCG, sur le rôle des trois antibiotiques et l'apparition de souches trirésistantes font une large place aux conditions sociales de vie, de travail, d'habitat, de manière non discutable. Certaines maladies entraînent l'exclusion sociale et la guérison objectivement prouvée par des tests ne garantit pas la réintégration dans son existence antérieure. L'angoisse de ségrégation domine largement. C'est l'angoisse de l'idée que l'entourage se fait d'une maladie comme le cancer "qui ne pardonne pas" et récidive indéfiniment, dans la pensée populaire du moins.

Il faudrait encore évoquer, dans la relation médecin-malade : "les maladies qu'il ne faut pas guérir", "les malades par métier" qui refusent de guérir, les porteurs sains qui ne souffrent pas et n'ont aucun signe apparent, mais sont objectivement malades, ceux qui souffrent mais n'ont objectivement aucun signe. Autrement dit pathologie objectivée, maladie et angoisse ne se superposent pas.

2.3. Une éducation à la maladie et à la guérison

Cette éducation se présente comme une (dure) épreuve de réalité. L'attitude scientifique visant à objectiver certaines maladies conduit à remettre en cause de nombreuses représentations : la maladie n'est pas un mal, ni une destinée, la

le malade
se prend
en charge

souffrance n'est pas nécessaire et rédemptrice. Mais est indispensable la coopération du médecin avec ce non-savoir propulsif vécu par le malade qui tente d'inventer une nouvelle façon de vivre, de réduire le moins possible ses conditions d'existence. Le malade n'est pas l'objet passif de soins mais un coopérant actif qui tente de se prendre en charge.

Si la santé est l'absence de maladie elle n'en est pas la disparition ou l'exemption définitive. La menace de la maladie est un des constituants de la santé. Si la santé est le pouvoir de résister à la maladie éventuelle, elle comporte la conscience de la maladie comme possible.

La maladie n'est pas que l'usure de la santé, elle peut aussi être une expérience positive d'accroissement de ce pouvoir de résistance comme le suggère la pratique des vaccinations.

3. LA SANTÉ CONCEPT SOCIO-POLITIQUE

la maladie au
premier rang
des peurs

Pour bien comprendre l'image extraordinairement positive des médecins et de la médecine dans la société actuelle, mais aussi, paradoxalement, le fait que, en France, la maladie grave est placée au premier rang des grandes peurs modernes, loin devant la guerre ou le chômage, il faut un recul historique.

3.1. La pastorisation de la médecine

Claude Bernard fixe à la médecine un projet et un programme de recherche qui doivent la faire devenir réellement scientifique en devenant expérimentale au laboratoire. Mais aucun de ses travaux personnels n'aura d'application médicale.

La véritable révolution aura lieu avec Pasteur qui, paradoxalement, n'est ni médecin, ni physiologiste. Avec lui commence "la pastorisation de la médecine" puis de la société toute entière.

La "théorie microbienne des maladies" conduit rapidement à parler, de manière réductrice, de "maladie microbienne". Cette vision restrictive est peut-être initialement indispensable mais elle soutient plusieurs représentations sociales et idéologiques d'autant plus puissantes qu'elles sont apparemment absentes du discours.

des idéologies
absentes
du discours

- Elle propose une origine "externe" de certaines maladies et désigne un "objet" localisable et observable. Elle soutient donc une représentation ontologique du "mal" qui est déculpabilisante dans la mesure où l'on peut accuser le milieu ou la société.

- Cette localisation permet une action, ou la promesse d'une action possible efficace : procédés d'asepsie, d'antisepsie, de prévention par vaccination du temps de Pasteur puis, par la suite découverte des sulfamides et des premiers antibiotiques.

- Cette vision d'une médecine active et opératoire est en accord avec la société industrielle de l'époque.
- Elle fait une place obligée au laboratoire entre le médecin et le malade.
- Avec les vaccinations s'ouvre la nécessité d'une action collective qui s'adresse à des gens qui ne sont pas malades, et ne le seront pas.
- Les microbes donnent un fondement aux pratiques individuelles d'hygiène et aux pratiques collectives de salubrité, de destruction des lieux insalubres.
- La médecine s'appuie sur des obligations légales et des contraintes; pendant la guerre et dans les colonies elle devient même brutale et agressive.
- L'idée d'une disparition ou au moins d'une exemption définitive des maladies microbiennes trouve ici un appui; on devient alors malade par sa propre faute en ne respectant pas les règles.

santé, salubrité,
assurance

La médecine change de lieu d'intervention et d'objet d'étude. Ce ne sont plus des individus dans un cabinet médical ou à l'hôpital, mais des populations d'élèves à l'école ou de jeunes à l'armée. Ce n'est plus seulement la maladie en réponse à l'appel du malade, mais la santé du bien-portant, la santé collective que l'on nommait l'hygiène ou, mieux, la salubrité. On parle d'assurance (maladie), puis de sécurité (sociale). Or, la sécurité c'est la négation de la maladie, c'est l'exigence (illusoire) de n'avoir pas à la connaître. Le double sens du mot assurance entretient l'ambiguïté. Il ne s'agit pas de confiance dans l'avenir, mais plutôt de protection ou d'évitement, un peu comme si l'assurance automobile empêchait d'avoir des accidents et autorisait donc à tout se permettre. Ainsi, par l'extension de son champ d'application à l'ensemble d'une population progressivement protégée par des mesures législatives et des institutions dites successivement d'hygiène, de salubrité, de sécurité, la notion de santé a profondément changé de sens.

3.2. La médecine flotte dans un habit trop grand

la médecine
déliendrait
une science
de la santé

Décrivons à quel point le médecin s'est immiscé, non sans conflits, dans tous les domaines de la vie privée et publique grâce en particulier à son alliance étroite, il faudrait dire fusionnelle, avec la science biologique qui fait croire que la médecine est elle-même devenue scientifique et détentrice d'une "science de la santé individuelle et publique".

La médecine intervient pour :

- les maladies organiques et fonctionnelles;
- les maladies psychosomatiques, névrotiques et psychotiques;
- leur prévention (vaccination), leur dépistage précoce ou préventif (sauf peut-être pour les dépressions ou les suicides);

- toutes les formes de travail : contrat d'embauche, maladies dites professionnelles, taux de handicap pour les pensions d'invalidité ;
- les actions militaires : blessures, épidémies, mais aussi guerre bactérienne et torture ;
- le sport et le dopage ;
- la justice : pour déclarer irresponsable tel coupable, castrer chimiquement les délinquants sexuels, proposer la camisole chimique contre les individus dangereux, "humaniser" la peine de mort,
- les contrats d'assurance, les emprunts bancaires, le permis de conduire ;
- le mariage, l'impuissance, la stérilité, la fécondation qui a besoin d'être assistée, la prédiction génétique, l'avortement, ou l'accouchement ;
- le vieillissement et la mort à l'hôpital ;
- calmer les angoisses et le mal-être à l'aide d'anxiolytiques et d'antidépresseurs ;
- définir les régimes alimentaires permettant de garder la "forme" ou la "ligne", etc.

Sans compter leur présence au Parlement et l'existence d'un Ministre et d'un Ministère. Au bout de cet agrandissement démesuré de son objet d'étude et de ses lieux d'intervention, la santé publique concerne la totalité de la vie. Le corps médical est devenu un appareil politique d'État. Il a de plus une dimension transnationale à travers la Croix rouge, les médecins sans frontières agissant dans des organisations non gouvernementales, la définition d'un droit d'ingérence humanitaire.

la médecine est un phénomène social total

De même que le sport, ou même simplement le football est décrit comme un phénomène social "total", la médecine est un phénomène social total qui laisse supposer que le médecin dispose d'un savoir total de type scientifique sur l'ensemble des problèmes existentiels.

À partir d'un noyau de positivité scientifique la médecine s'est diluée dans le fantasme ou l'idéologie sociale et politique, plus rarement dans une utopie positive. Il nous faut maintenant l'évoquer sans pouvoir l'analyser longuement ici.

3.3. Les idéologies médicales

l'idéologie de la guérison

- L'idéologie de la guérison a envahi la presque totalité du champ des pratiques sociales. On peut, comme s'y emploient de nombreux auteurs attentifs à repérer les pouvoirs diffus de normalisation sociale, englober sous le seul chapitre de la guérison la visée éducative, la fonction de la religion, les prétentions de la politique, la finalité actuelle de la justice et les effets supposés de l'art, de la musico-thérapie par exemple. Le souci de guérison est partout prévalent et distord ou renverse totalement les finalités traditionnelles des institutions éducatives, judiciaires, religieuses, policières, etc. C'est l'ensemble de la société qui mérite d'être définie, dans l'image

idéale qu'elle se donne d'elle-même, comme une immense "machine à guérir".

Selon E. Drewermann, Dieu devient guérisseur et non plus rédempteur. Le Droit et la Loi s'effacent au bénéfice d'un besoin de sécurité. La peine et la prison s'effacent au profit de la rééducation et d'une recherche toujours renouvelée d'une hypothétique réinsertion sociale. La fonction parentale, fonction de séparation, recule devant le besoin de garantir, de prémunir. Guérir signifiant étymologiquement protéger, défendre quasi militairement contre une agression ou une sédition, la fonction parentale consiste à "surprotéger" provoquant l'effet inverse de celui recherché. Le XVIII^e siècle a développé la mode des bergeries des moutons et des bergers. Or il est certainement plus aisé de renoncer à la mode des bergeries que de tuer en soi le berger. Cette idéologie favorise la confusion entre les rôles de parent, enseignant, juge, médecin, politicien, prêtre, policier.

tuer en soi
le berger

• Nous nous limiterons à citer les autres affirmations contestables :

- La suppression totale et définitive des maladies est possible sur le modèle de la disparition de la variole.

tout remède doit
être causal

- Le scientisme suppose que tout traitement est nécessairement causal, que l'on pourra toujours trouver la cause initiale de toute maladie sinon la cause unique.

- L'organisme est en lutte avec son milieu, il doit se défendre contre des agressions physiques ou biologiques, ou des contraintes dont il ne peut s'affranchir.

- Les campagnes de démedicalisation proposent qu'une auto-gestion de sa propre santé organique est possible sans médiation médicale, à la suite de certains courants dérivés d'un écologisme naturaliste bien souvent antirationaliste. Cette thèse antimédicale n'est après tout que le simple renversement d'un scientisme excessif.

- Il existe un "droit à la santé".

- La santé est une valeur absolue supérieure à toutes les autres.

- Les normes organiques de fonctionnement sont la base des normes sociales. Les déviations de fonctionnement organique se confondent avec les déviations sociales. Guérir c'est donc normaliser. Les normes sociales sont inscrites dans la "sagesse du corps".

- Les médecins spécialistes sont plus compétents que les médecins généralistes. Ils induisent une vision du corps fragmenté et divisé.

- La nécessité de trouver "une cause" encourage l'acharnement à comprendre, à maîtriser, à soumettre voire à agresser. Acharnement thérapeutique organique mais aussi psychothérapeutique.

- Le médecin dispose d'un savoir scientifique (organique); le malade doit donc s'en remettre à lui, il devient "l'objet" de soins.
 - L'idéologie sécuritaire doit exempter de toute maladie et de tout risque.
 - L'urgence est un concept médical (et militaire) par excellence. Elle justifie les choix arbitraires, les actions brutales et contraignantes.
 - L'idéologie de la transparence justifie les imageries médicales qui constituent parfois des effractions du corps.
 - Les campagnes contre le tabagisme peuvent légitimement prendre un tour hystérique conduisant à des procédures de délation, d'agression autrement dit de gestion collective de l'ordre social, et d'entretien de la peur.
 - La médecine a renoué une nouvelle alliance avec la maladie conçue comme "mal" et donc comme peur, etc.
- la maladie est un mal

LES QUALIFICATIONS DE LA SANTÉ

SANTÉ LIBRE,

qui est un non-savoir propulsif, qui est la vérité du corps.

SANTÉ ORGANIQUE,

dont la vérité scientifique réside dans l'analyse des maladies et des normes physiologiques de fonctionnement dans chaque condition d'existence.

SANTÉ MENTALE,

dont il est difficile de définir une vérité scientifique, qui est plutôt la vérité d'un individu et son pouvoir de normativité, que la santé collective.

SANTÉ SAUVAGE, AUTOGÉRÉE,

qui prétend se ressourcer dans la nature et n'est qu'une illusion souvent antirationaliste.

SANTÉ PUBLIQUE, SALUBRITÉ, ASSURANCE MALADIE, SÉCURITÉ SOCIALE,

qui ont partie liée avec l'ordre social et la volonté politique de normalisation, de gestion des populations, de rectification des déviations, de prise en compte des intérêts économiques.

3.4. Une éducation à la santé publique

Tout en dégageant le noyau de positivité de chacune des thèses énoncées précédemment, le travail consiste à dénoncer et critiquer chacune des idéologies qu'elles renforcent ou induisent. Ces idéologies, très nombreuses, ne forment pas un ensemble unifié et cohérent. Ce vaste programme d'analyse critique n'est pas la propriété unique du monde médical, il concerne tout un chacun. La santé-salubrité n'est pas défi-

nissable comme un bien extrinsèque dont une profession détiendrait les critères. On aurait donc envie de revenir à la définition initiale : si la santé est la non-maladie non-ressentie par la personne alors le médecin doit cesser d'intervenir tant qu'on ne l'appelle pas. Mais cette limite n'est pas tenable. Elle insiste sur la nécessaire liberté d'action individuelle. La "charte du patient hospitalisé" précise que le patient participe aux choix thérapeutiques qui le concernent, que son consentement spécifique est attendu, qu'il demeure libre à tout moment de quitter l'établissement, qu'il garde le droit à une vie privée.

résister aux
réductions

L'éducation consiste à résister aux réductions nécessitées temporairement par la recherche biologique, à résister aux confusions entre biologie et médecine, entre individu et population, entre santé et salubrité, entre recherche scientifique et pouvoir médical.

La santé ce n'est pas lutter contre la peur de devenir malade, ce n'est pas se demander comment vivre pour conjurer le mal radical, mais "*que vivre pour développer au mieux les potentialités de la condition humaine ?*" (Lecourt, 1996).

Guy RUMELHARD
Lycée Condorcet, Paris
Unité "Didactique des sciences
expérimentales", INRP

BIBLIOGRAPHIE

ALLENDY, R. (1934). *Essai sur la guérison*.

AUGÉ, M., HERZLICH, C. (1984). *Le sens du mal. Anthropologie, histoire, sociologie de la maladie*. Paris : Éd. Archives contemporaines.

BALINT, M. (1960). *Le médecin, son malade, la maladie*. Paris : PUF (trad. 1957). Nouvelle éd. Payot, 1966.

BELAVAL, Y. (1953). *Les conduites d'échec*. Paris : Gallimard.

BRISSET, C. (1984). *La santé dans le tiers-monde*. Paris : La Découverte.

BRISSET, C., STOUFFLET, J. (1988). *Santé et médecine*. Paris : La Découverte, Inserm, Orstom (584 pages).

BROHM, J.-M. (1998). Football et passions politiques. *Manière de voir n° 38*. Paris : Le Monde diplomatique.

CANGUILHEM, G. (1966). *Le normal et le pathologique*. Paris : PUF.

CANGUILHEM, G. (1968). Thérapeutique, expérimentation, responsabilité; Puissance et limite de la rationalité en médecine; Le statut épistémologique de la médecine. In *Études d'histoire et de philosophie des Sciences*. Paris : Vrin. 7^e éd. augmentée, 1994.

CANGUILHEM, G. (1972). L'idée de nature dans la théorie et la pratique médicales. *Médecine de l'homme n° 43*, Mars.

CANGUILHEM, G. (1988). *La santé concept vulgaire et questions philosophiques*. Sable éd.

CANGUILHEM, G. (1978). Une pédagogie de la guérison est-elle possible? *Nouvelle Revue de Psychanalyse n° 17*.

DIDEROT, D. (1751). *Lettre sur les sourds et muets à l'usage de ceux qui entendent et qui parlent*.

DUCLOS, D. (1984). *La santé et le travail*. Paris : La Découverte.

FOUCAULT, M. (1979). *Les machines à guérir. Aux origines de l'hôpital moderne*. Bruxelles : P. Mardaga éd.

GRMEK, M.D. (1983). *Les maladies à l'aube de la civilisation occidentale*. Paris : Payot.

GRODDECK, G. (1973). *Le livre du ça*. Paris : Gallimard.

GRELET, I., KRUSE, C. (1983). *Histoire de la tuberculose*. Paris : Ramsay.

- HERZLICH, C. (1969). *Santé et maladie. Analyse d'une représentation sociale*. Paris : Mouton.
- HERZLICH, C. (1970). *Médecine, maladie, société*. Paris : Mouton.
- KANT, E. (1781). *Critique de la raison pure*.
- KANT, E. (1798). *Conflit des facultés*.
- LAFFORGUE, R. (1936). La guérison et la fin du traitement. *Clinique psychanalytique. VII^{ème} leçon*.
- LE BLANC, G. (1998). *Canguilhem et les normes*. Paris : PUF.
- LECOURT, D. (1993). Ordre médical, ordre moral ; Santé des citoyens et réalités de la médecine. In *À quoi sert donc la philosophie ?* Paris : PUF.
- LECOURT, D. (1997). L'ordre psy ; L'éthique du point de vue philosophique. In *Déclarer la philosophie*. Paris : PUF.
- LECOURT, D. (1996). *Prométhée, Faust, Frankenstein. Fondements imaginaires de l'éthique*. Paris : Éd. Synthelabo groupe.
- MORANGE, M. (1991). *L'institut Pasteur*. Paris : La Découverte.
- MOULIN, A.-M. (1994). *La santé est-elle un concept scientifique ?* (polycopié)
- REY, R. (1993). *Histoire de la douleur*. Paris : La Découverte.
- ROMAIN, J. (1924). *Knock*. Paris : Gallimard.
- SALORT, M.-M. (1977). *La santé*. Paris : Hatier. Coll. Profil dossier.
- SALOMON-BAYET, C. (1986). *Pasteur et la révolution pastoriennne*. Paris : Payot.
- VALABREGA, J.-P. (1980). *Phantasme, mythe, corps et sens*. Paris : Payot.
- Revue *Autrement*, n° 4, 1975, *Guérir pour normaliser* ;
n° 26, 1980, *La santé à bras-le-corps*.

ENSEIGNER ET APPRENDRE PAR PROBLÈMES SCIENTIFIQUES DANS LES SCIENCES DE LA VIE ÉTAT DE LA QUESTION

Philippe Brunet

Ce texte, qui a été rédigé pour un mémoire de DEA, présente un état actuel de la réflexion sur l'enseignement et l'apprentissage par problèmes scientifiques. Il distingue les données épistémologiques (démarche expérimentale et obstacles), les données psychocognitivistes (socio-constructivisme, traitement de l'information, la résolution de problèmes), et l'outil didactique dénommé situation-problème. Il présente une bibliographie très développée sur la question.

une investigation
à partir de
problèmes
scientifiques

Depuis la réforme des lycées et la mise en place des nouvelles séries du baccalauréat de l'enseignement secondaire, l'enseignement par problèmes scientifiques guidant les activités expérimentales des élèves est devenu la seule méthode pédagogique prônée par l'Inspection Générale. D'ailleurs, il est possible de lire dans les principes généraux de ces nouveaux programmes : *"L'enseignement des Sciences de la Vie et de la Terre s'appuie largement sur des activités pratiques et expérimentales, sur une référence constante au concret, sur l'appel à des thèmes d'actualité. Fondé sur une investigation à partir de problèmes scientifiques, il favorise le développement chez l'élève d'une attitude rationnelle, condition d'une autonomie indispensable à un choix raisonnable."* (1)

formuler des
problèmes

Bien que présent, dans l'enseignement des sciences naturelles, comme alternative à d'autres méthodes pédagogiques, dès la fin des années soixante, c'est vraiment, avec les changements de programme de 1987, que l'enseignement par problèmes scientifiques fait son entrée officielle dans la conduite de l'enseignement. On peut en effet lire dans les instructions officielles de 1987 : *"Dans le cadre des méthodes actives associant les élèves à l'organisation des connaissances autant qu'il est possible de le faire, la valeur éducative des actions pédagogiques tient aux démarches explicatives que conditionne la problématique scientifique. Les sujets doivent permettre à partir du concret et des acquisitions antérieures des élèves de formuler les problèmes scientifiques, étapes conduisant par le raisonnement à l'organisation d'un savoir explicatif."*

Alors qu'en 1987, il était explicitement fait référence à une pratique pédagogique, celle des méthodes actives, une évolution est perceptible dès 1992, avec les rajustements transitoires des programmes de 1987 où là, il est fait référé-

(1) Ministère de l'éducation nationale (1992). Nouveaux programmes des classes de seconde, première et terminale des lycées. *B.O.E.N.*, (numéro hors série du 24 septembre 1992). Paris, CNDP.

rence à un enseignement par problèmes scientifiques prenant en compte les capacités des élèves (2). Bien que non explicitement indiquée, la pédagogie par objectifs est sous-jacente à l'élaboration de ces nouvelles indications méthodologiques.

Finalement, toute référence à une quelconque pratique pédagogique disparaît dans les derniers programmes. Comment interpréter ce retrait progressif de toute indication d'ordre pédagogique quant à la mise en place d'un enseignement par problèmes scientifiques? Nous supposons, alors, la prise de conscience du fait que l'enseignement des sciences est au moins sous l'influence de deux types de contraintes (Host, 1982, 1985) : *"Les unes tiennent aux finalités de l'éducation, les autres aux exigences spécifiques de la pensée scientifique."* (Host, 1982). Un enseignement par problèmes scientifiques se trouve donc à la rencontre d'une double approche : l'approche psychocognitive et l'approche épistémologique.

Pendant, l'étude des problèmes proposés par les concepteurs de manuels (3) (Tavernier, Lizeaux, 1993; Demounem, Gourlaouen, Périlleux, 1993), outre la diversité syntaxique de l'énonciation de ces derniers (voix affirmative ou voix interrogative), fait apparaître une méconnaissance du type de savoir à construire, lors de la résolution du problème. Il semble donc nécessaire de trier et de qualifier, les différents types de savoir auxquels est confronté tout enseignement des sciences, de façon à déterminer ceux qui seront construits de façon privilégiée, lors d'une pédagogie par "résolution de problèmes".

De plus, les instructions officielles indiquent que l'enseignement doit se mettre en place à partir des acquis supposés des élèves, construits dans les classes précédentes. Or, le plus souvent, ce dernier possède *"des conceptions pré-scientifiques qui font partie de son bagage intellectuel d'apprenant, c'est à travers elles qu'il comprend... Elles sont à la base de la connaissance, en constituant une sorte de substrat au savoir."* (Giordan, De Vecchi, 1990). Ces conceptions initiales des apprenants sont à l'origine d'obstacles à la compréhension et à l'acquisition d'une connaissance scientifique, *"c'est en effet,*

les conceptions
des apprenants

(2) *"Avec les moyens traditionnels ou grâce aux technologies nouvelles, on poursuivra la recherche des conditions de développement d'un enseignement par problèmes scientifiques et des capacités des élèves à élaborer des hypothèses, concevoir et mettre en œuvre des protocoles expérimentaux, dans le cadre d'activités de laboratoire autonomes, individuelles et d'équipe."*

Ministère de l'éducation nationale (1992). Aménagement des programmes en classe de seconde générale et technologique (année scolaire 1992-1993); Biologie-géologie. B.O.E.N. n° 23/4 juin 1992, page 1579. Paris, CNDP.

(3) *"1-Comment évaluer les dépenses énergétiques de l'animal ou de l'homme, et comment étudier expérimentalement l'influence de différents facteurs, internes et externes, sur les dépenses énergétiques ?*

2-Par quels mécanismes les cellules libèrent-elles l'énergie chimique des nutriments ? Quelles substances cellulaires interviennent dans ces processus libérateurs d'énergie ?"

Tavernier, R., Lizeaux, C. (1993). *Sciences de la vie et de la terre, première S.* Paris : Bordas.

Ou encore, *"Les problèmes scientifiques à résoudre :*

1- La diversité ou l'identité des modalités de conversion d'énergie chez les êtres vivants.

2- L'influence de divers facteurs sur la consommation d'énergie d'un organisme.

3- Les mécanismes des conversions d'énergie à l'échelle de la cellule."

Demounem, R., Gourlaouen, J., Périlleux, E. (1993). *Sciences de la vie et de la Terre, première S.* Paris : Nathan.

en termes d'obstacles qu'il faut poser le problème de la connaissance scientifique" (Bachelard, 1938). Ces données, qu'il sera nécessaire de prendre en compte dans l'enseignement des sciences, interfèrent alors avec les deux approches définies précédemment.

trois types de
contraintes

La reconnaissance de ces trois types de contraintes, à savoir celles liées aux mécanismes d'apprentissage lors de la résolution de problèmes, celles liées aux exigences de la pensée scientifique et celles liées à l'existence de conceptions pré-scientifiques chez les apprenants, a amené les chercheurs en didactique des sciences à construire progressivement un ensemble d'outils permettant un enseignement plus efficace des savoirs scientifiques.

La connaissance des conceptions-obstacles, n'est, en effet, utile que si elle permet véritablement l'acquisition d'un savoir scientifique, il est en effet nécessaire de rendre ce concept opérationnel. Le concept d'objectif-obstacle (Martinand, 1986) semble pouvoir l'opérationnaliser.

l'impossibilité
de résoudre
le problème
sans apprendre

La situation-problème se trouve elle à la réunion de la pratique de résolution de problèmes et du concept d'obstacle opérationnalisé par celui d'objectif-obstacle. Elle peut donc paraître comme étant un outil efficace de l'apprentissage. *"Tout l'effort de la pédagogie des situations-problèmes est d'organiser précisément l'interaction pour que, dans la résolution du problème, l'apprentissage s'effectue. Cela suppose que l'on s'assure, à la fois de l'existence d'un problème à résoudre et de l'impossibilité de résoudre le problème sans apprendre."* (Meirieu, 1987). Il est ainsi également posé la question de la pertinence et du sens pour l'apprenant du problème qui lui est donné à résoudre.

Afin de préciser les caractéristiques d'un "enseignement par problèmes scientifiques", nous envisagerons donc dans un premier temps les deux domaines auxquels fait référence cette pratique pédagogique : l'épistémologie des sciences et les théories d'apprentissage liées à la psychologie cognitive. Nous terminerons alors cet exposé par la caractérisation d'un outil didactique utilisable dans ce type d'enseignement, à savoir la situation-problème.

1. LES DONNÉES ÉPISTÉMOLOGIQUES D'UN ENSEIGNEMENT PAR PROBLÈMES SCIENTIFIQUES

Dans le domaine de la recherche sur la "résolution de problèmes", outre le courant psychocognitivist, il existe un courant basé sur l'histoire, la philosophie et l'épistémologie des sciences (Furió Mas, Iturbe Barrenetxea, Reyes Martín, 1994). C'est effectivement la pratique du chercheur scienti-

fique qui tend à servir de référence dans l'enseignement des sciences. Il apparaît donc nécessaire d'étudier et de caractériser les mécanismes de l'élaboration scientifique. Trois éléments majeurs seront ici, envisagés dans le développement de la connaissance scientifique :

- le problème en tant qu'instrument de création de savoir scientifique,
- la démarche expérimentale fonctionnant sur un mode de pensée hypothético-déductif,
- le concept d'obstacle épistémologique, développé dans un cadre d'étude historique.

1.1. Le problème, moteur de l'activité scientifique

une
problématisation
excessive

Bien qu'on puisse remettre en cause une "problématisation" excessive des sciences, en liaison avec un idéal méthodologique (Andler, 1987), il n'en demeure pas moins, qu'en partie, le problème est au cœur de l'activité scientifique, il apparaît comme étant le moteur de sa progression (Popper, 1959, 1963; Laudan, 1977; Chalmers, 1991). *"La science ne commence que s'il y a problème. Ceux-ci surgissent avant tout lorsque nos attentes se trouvent déçues ou que nos théories nous conduisent à des difficultés, à des contradictions,"* (Popper 1985). Plus généralement, Popper (1978), fera de tout être vivant un *problem-solver* et fondera l'existence d'un "monde-3", création humaine, *"peuplée des produits objectifs de l'activité cognitive : théories, problèmes, conjectures, doctrines et options philosophiques, interprétations, etc."* (Andler 1987)

Ces problèmes, moteurs de la découverte scientifique, apparaissent lorsque les théories scientifiques n'expliquent plus totalement ce qui est observé par le chercheur. Ils permettent alors, l'élaboration d'hypothèses qui se trouvant "réfutéés", autorisent l'élaboration de nouvelles théories et de nouveaux problèmes selon le schéma :

$$P \rightarrow TC \rightarrow EE \rightarrow P'$$

P = Problème initial (plongé dans un contexte),

TC = Théorie Conjecturale (tentative theory) proposée dans l'espoir de résoudre *P*,

EE = phase d'Élimination des Erreurs,

P' = un nouveau Problème (ou contexte problématique) issu du processus." (Andler, 1987)

C'est le plus souvent en ayant recours à l'expérimentation que l'élimination des erreurs s'établira. En fait, contrairement à un cadre "falsificationniste" poppérien naïf (Chalmers, 1976), il est rare que l'expérience débouche sur le rejet de la théorie ou son acceptation provisoire (*"l'expérience cruciale"*). Selon Lakatos (1985), le plus souvent, on aboutit à des aménagements provisoires de secteurs de la théorie.

science normale
et révolutions
scientifiques

Parallèlement, son étude de *“La révolution copernicienne”* (1957) permet à Kuhn de dégager le concept de *“révolution scientifique”* (1962). Il distingue alors :

“- Des périodes où les scientifiques sont d'accord sur la façon dont il faut voir le monde et partagent le même paradigme. Il parle alors de science normale.

- Des périodes, plus courtes et relativement peu fréquentes, de science extraordinaire où une révolution scientifique conduit à un changement de paradigme.” (Orange C., Orange D. 1993b)

Ce concept de paradigme élaboré par Kuhn, bien que ce dernier le rejetât (Latour, 1996), permet entre autres, d'introduire dans l'activité scientifique une composante sociale (Latour, Woolgar, 1988 ; Latour 1996). Ce concept pourra d'ailleurs, orienter une pratique de classe par la mise en place d'un débat scientifique dans la classe (Johsua, 1989). En effet, *“le paradigme va beaucoup plus loin que l'idée de théorie construisant les faits, il est équipé d'instruments, alourdi de procédures institutionnalisées. Il est social, politique, humain en même temps que conceptuel et technique.”* (Latour, 1996). Il sera alors possible de distinguer deux types de problèmes scientifiques. Ceux qui permettent une amélioration du paradigme dans lequel ils sont élaborés et ceux qui par absence de résolution, conduiront à une crise, on distinguera alors des *“problèmes normaux”* et des *“problèmes de rupture”* (Orange C., Orange D., 1993b).

Laudan, rejoignant les travaux de Kuhn, affine la définition du problème scientifique. En effet, il considère qu'il existe deux types de problèmes :

- les problèmes empiriques ou problèmes d'ordre premier (Laudan, 1977) qui *“correspondent à ce qui, dans la nature, perçue au travers d'un certain contexte de recherche ou de certaines idées préconçues, demande une explication”* (Orange C., 1993) ; on pourra les rapprocher des problèmes normaux *“kuhniens”* ;

- les problèmes conceptuels, proches eux des problèmes de rupture. Il s'agit *“soit de problèmes de plausibilité ou de cohérence d'une théorie, soit de conflits entre deux théories”* (Orange, 1993).

construire les
problèmes avant
de les résoudre

Il faut également insister sur le fait que pour Laudan, les problèmes résultent d'un processus d'élaboration théorique. Il rejoint de ce fait Bachelard pour qui la maîtrise d'un problème scientifique ne se limite pas à sa résolution, mais également à sa construction, à sa formulation (Orange, 1993).

Popper, Laudan, Bachelard et Kuhn amènent alors Orange (1993) à préciser *“trois points importants dans les relations problèmes/connaissances :*

- *Des interactions fortes existent entre problèmes et connaissances au point que l'un ne peut exister sans l'autre dans l'activité scientifique.*

- *Les problèmes sont des constructions intellectuelles. Ils ne sont pas donnés, mais résultent d'un processus de problématisation.*

- *Les problèmes n'ont pas tous le même statut épistémologique ; certains sont liés à des ruptures théoriques, d'autres à de simple développement de paradigmes."*

En partant de l'hypothèse que ces remarques sont transposables à des situations d'apprentissage s'appuyant sur la construction et la résolution de problèmes, il est alors possible de distinguer en situation de classe, dans une pratique pédagogique guidée par l'épistémologie des sciences, des problèmes normaux et des problèmes de rupture (ou fondamentaux). Orientés également par des données historiques, on distinguera des savoirs-clés quant à la construction de la connaissance scientifique et des savoirs plus secondaires qui n'interviendront que dans la stabilisation des concepts majeurs (savoirs-clés) (Orange C., Orange D., 1993b ; Johsua, 1989). Tout comme dans le domaine scientifique où on assiste à des changements nets de connaissance, lors de période de révolution scientifique, les problèmes de rupture permettront donc aux apprenants de réaliser un apprentissage en changeant leur propre paradigme. Alors que des problèmes normaux pourront être utilisés au cours d'un autre type d'apprentissage qui lui, visera davantage l'approfondissement d'une connaissance, d'une théorie (Orange C., Orange D., 1993b). Cependant, *"qu'ils soient fondamentaux ou normaux, les problèmes sont à construire et c'est dans la construction que réside l'essentiel du travail intellectuel, donc l'essentiel de l'apprentissage attendu."*

l'essentiel est
dans la
construction

1.2. La démarche expérimentale

En sciences expérimentales et notamment en biologie, c'est par la mise en place d'expérimentation que les théories, explications momentanées à un problème vont être mises à l'épreuve : on tentera de les "falsifier" (Popper, 1959). Ces expérimentations prennent souvent la forme d'une "démarche expérimentale" caractérisée par une approche intellectuelle hypothético-déductive.

La "démarche expérimentale" trouve son origine dans le positivisme classique qui dans l'activité scientifique donnait un rôle fondamental à l'observation (Comte, 1832). Cette attitude positiviste est particulièrement illustrée par Claude Bernard (1865) dans la mise en place de la "méthode expérimentale" (Develay, 1989) que l'on peut résumer par : *"Observation naturelle → expérience (mesures) → mise en évidence de faits → formulation d'hypothèses → déductions et prévisions → mise au point de nouvelles expériences fondées sur ces hypothèses et ces prévisions → confirmation ou rejet des hypothèses au vu du résultat de ces expériences."* (Johsua, Dupin, 1993)

le cadre
théorique prime

Il apparaît cependant que Claude Bernard, lui-même, n'utilisait pas cette méthode dans ses recherches et qu'elle ne représentait qu'une technique d'exposition de ses travaux (Canguilhem, 1968 ; Grmek, 1973). En effet, un ensemble d'études historiques a démontré que le cadre théorique dans lequel se posait le problème primait sur l'observation et que ce dernier était le filtre à travers lequel le monde physique ou biologique pouvait être interrogé (Giordan (dir.), 1987). *"La science part donc de problèmes et non pas d'observations, même si celles-ci peuvent faire apparaître un problème, en particulier lorsqu'elles sont imprévues."* (Popper, 1985). Dans la science moderne, même si *"le caractère principal de l'élaboration scientifique apparaît de nature hypothético-déductive, c'est l'hypothèse, enserrée dans un cadre théorique, qui dirige les calculs mais aussi les observations, et donc les conclusions à confronter éventuellement avec les données expérimentales"* (Johsua, Dupin, 1993).

Un décalage semble cependant exister entre la reconnaissance d'une procédure de recherche scientifique non enclenchée par l'observation et les pratiques pédagogiques. Il apparaît, en effet que l'enseignement des sciences expérimentales, et particulièrement celui de la biologie, reste très largement imprégné par une approche empiriste dans un cadre positiviste. *"L'observation joue le rôle d'activité première, la démarche inductiviste étant le processus obligatoire pour accéder à la conceptualisation."* (Grosbois, Ricco, Sirota, 1992). L'enseignement de la biologie passe par celui de la "méthode" expérimentale, modèle unique hérité de Claude Bernard et schématisé par OHERIC :

Observation → Hypothèse → Expérience → Résultat →
Interprétation → Conclusion (Giordan, 1978).

Il peut être éventuellement déguisé sous la forme OPHERIC, P pour problème, mais le cadre empirique donnant la primauté à l'observation, lui, ne change pas, malgré l'apparition du P.

Il apparaît que de manière récurrente, cette méthode linéaire destinée à ne mettre en valeur et à ne délivrer que la solution unique au problème déjà connue de l'enseignant est employée majoritairement par ces derniers (Orlandi, 1991). Ceci pourrait être relié à une "épistémologie spontanée des enseignants" où coexistent une attitude descriptive héritée du XIX^e siècle et une absence de connaissances en histoire des sciences (Rumelhard, 1997). La décontextualisation de contenus et de pratiques enseignés hors de tout lien avec leur sphère de production *"semble déplacer sans transition et irréversiblement les formulations employées par des enseignants de biologie d'un registre scientifique à un registre dogmatique"* (Grosbois, Ricco, Sirota, 1992 ; Favre, Rancoule, 1993).

De plus, selon Rumelhard (1997), la position prédominante de l'observation, dans la pratique de classe des enseignants de biologie semble s'accompagner de *"résistances très fortes,*

obstacle à la
notion de
problème

d'obstacles à la notion de problème (le mot problème contenant l'idée d'obstacle jeté devant et l'idée de résistance, de défenses à emporter de force)". Outre les obstacles liés à l'épistémologie spontanée des enseignants, il y discerne également des obstacles d'ordres psychologique et pédagogique : l'instinct conservatif privilégiant les réponses aux questions, le désir de régression, de fusion-confusion au sein de la Nature que peut entraîner le choix de certains thèmes de l'écologie et de l'éducation à l'environnement, et le choix de certaines méthodes d'enseignement qui réactivent (d'après Dolto, 1967) l'attitude digestive de la relation à l'autre. Dans un autre registre, l'évolution même du savoir scientifique qui par sa complexité et ses intégrations successives fait disparaître la question initiale constituera également un obstacle à la notion de problème (Rumelhard, 1997).

1.3. L'obstacle épistémologique

problèmes
pratiques

Lorsque John Dewey, l'un des fondateurs du mouvement pragmatique américain, préconise un enseignement par problèmes, permettant "*à l'enfant en les "expérimantant" de discipliner ses impulsions, le savoir lui étant donné par surcroît*" (Deledalle, 1995), il pense plutôt à des problèmes d'ordre pratique. Cependant, "*Résoudre un problème, trouver une solution efficace à un problème précis n'implique pas nécessairement de développer une problématique et d'entreprendre un programme de recherche. Une véritable activité scientifique vise à objectiver une question en proposant un détour, un recul, un déplacement, un changement de point de vue.*" Ce détour présente une rupture avec la pensée commune (Rumelhard, 1997).

On rejoint ici, l'idée de l'*expérience première* développée par Bachelard (1938). "*La première expérience ou, pour parler plus exactement, l'observation première est toujours un premier obstacle pour la culture scientifique.*" (Bachelard, 1938). Pour lui, cette observation première tirée le plus souvent de la pensée commune est "*séduisante et colorée*" et fait croire un peu trop rapidement, que l'on a compris. Elle crée alors un obstacle à la construction d'un réel savoir scientifique. Pour dépasser cet obstacle, il est alors nécessaire de quitter cet empirisme immédiat. Ceci ne peut alors se faire que par la construction, la formulation d'un problème et c'est au cours de ce processus que s'élaborera le savoir.

les problèmes ne
se posent pas
d'eux-mêmes

"Et quoi qu'on en dise dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir de connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit." (Bachelard, 1938). Cette construction se fait contre le savoir existant, contre l'expérience première, en renversant les obstacles qu'elle a pu faire

apparaître. La construction d'un savoir scientifique doit donc commencer par une *"catharsis intellectuelle et affective"*.

Bachelard développe sa théorie par l'étude de la pensée scientifique dans le monde occidental, et notamment par des études historiques dans les domaines de la physique et de la chimie. Se pose alors le problème de savoir dans quelles mesures l'histoire des sciences peut être utilisée dans l'enseignement scientifique aujourd'hui? En effet, de nombreux obstacles épistémologiques rencontrés dans l'histoire de la pensée scientifique apparaissent également comme étant des obstacles à la construction du savoir chez les apprenants (Raichvarg, 1987; Kerlan, 1993). Si l'histoire des sciences semble d'un apport fructueux pour le didacticien et l'enseignant (Rosmorduc, 1987, 1993; Gaudillière, 1994), elle ne semble l'être que sous certaines conditions (Martinand, 1993). Elle peut servir à détecter des obstacles persistants qui nécessitent des réorganisations conceptuelles importantes lors de leur franchissement. Mais en aucun cas, les méthodes qui serviront à surmonter ces obstacles ne pourront être identiques en raison des contextes matériels et culturels différents (Giordan, 1989b, Martinand 1993). Elle peut également aider à la construction des contenus (par exemple, le concept d'élément chimique enseigné sans modèle moléculaire et qui à travers les considérations de Mendéléïev a pu être envisagé comme étant ce qui se conserve lors de la réaction chimique) (Martinand, 1993). Mais il apparaît que dans la conception actuelle de l'enseignement où les résultats scientifiques demeurent plus importants que leurs constructions, cette dernière ne semble pas avoir sa place. En effet, il apparaîtrait nécessaire de réorganiser les buts même de l'éducation scientifique. *"Le problème fondamental doit sans doute être formulé ainsi : Quelles sont les conditions d'articulations entre une approche du sens historique et une initiation aux connaissances opératoires?"* (Martinand, 1993).

la redécouverte
est dogmatique

Il en ressort alors que la "méthode de la redécouverte", méthode pédagogique qui cherche à recréer les conditions historiques d'une découverte scientifique (Brunold, 1948), ne peut dans ces conditions que conduire à une pratique dogmatique déjà existante (sous une autre forme), dans l'enseignement scientifique (Gohau, 1987). Elle implique de plus, une vision linéaire de l'histoire des sciences et oublie les tâtonnements, les erreurs et les impasses pour ne considérer que les résultats. Ces derniers étant eux-mêmes reconstruits postérieurement par le chercheur, dans un souci de présentation claire et rationnelle (Gohau, 1987; Raichvarg, 1987; Serres, 1989).

En conclusion, il apparaît donc que le problème est le véritable moteur de l'activité scientifique. Il permet la production de savoirs, de connaissances, de théories scientifiques. C'est le plus souvent, par une démarche expérimentale de type

hypothético-déductif que ces savoirs seront testés, falsifiés, permettant ainsi la production de connaissances explicatives nouvelles encore plus performantes. La construction des savoirs scientifiques passe par une réelle remise en question des observations premières, initiales, et c'est par la problématisation, la construction et la formulation même des problèmes que s'élaborera la connaissance scientifique. Ces données d'ordre épistémologique constituent à la fois, des outils mais aussi des contraintes pour un enseignement qui se veut réellement scientifique. C'est en les reconnaissant, en les considérant qu'un apprentissage par construction et résolution de problèmes pourra être réellement efficace.

2. L'APPROCHE PSYCHOCOGNITIVISTE DE L'APPRENTISSAGE PAR PROBLÈMES SCIENTIFIQUES

"learning
by doing"

À la lecture des orientations méthodologiques fournies par les instructions officielles, il apparaît que ces dernières s'insèrent plus ou moins dans le cadre d'une théorie d'apprentissage. En 1987, c'est celui des méthodes actives, prolongeant ainsi l'important mouvement des "écoles nouvelles" des années 1970. Elles trouvent une origine dans l'école pragmatique nord-américaine (James, Peirce, Dewey), "*Learning by doing*" (Dewey, 1907). Ces méthodes actives prônent une activité d'investigation des élèves en situation d'autonomie conduisant ainsi à l'apprentissage d'un savoir (Decroly, Freinet). Acceptable à l'école élémentaire, dans le cadre d'apprentissages fondamentaux, elles deviennent difficilement applicable, au lycée, dans le cadre d'un enseignement scientifique. Ceci étant à rapporter à la nature intrinsèque du savoir scientifique.

À la fin des années soixante, un important courant pédagogique se met en place dans l'enseignement des sciences : la *pédagogie par objectifs* (De Landsheere G., De Landsheere V., 1976 ; D'Hainaut, 1977), en liaison avec l'apprentissage hiérarchique de capacités (4) (Gagné, 1970). Ce courant a depuis été abandonné pour deux raisons essentielles : le nombre des objectifs considérés rendant impossible une orientation objective d'une pratique de classe, de plus, désigner un objectif ne veut pas dire l'atteindre. Les derniers programmes, s'inscrivant dans une pédagogie du problème (*problem-based learning* (Pochet, 1995)), confèrent délibérément à l'enseignement des sciences de la vie et de la terre un cadre socio-constructiviste ("*...l'élève construit activement son savoir..., mise en commun et confrontation des résul-*

(4) "... développement d'un enseignement par problèmes scientifiques et des capacités des élèves..." Ministère de l'éducation nationale (1989). *Sciences naturelles, classe de seconde, première et terminale*. Paris : CNDP. (Collection : horaires, objectifs, programmes, instructions). (Première édition, 1987).

tats..”) (5). C’est la raison pour laquelle nous préciserons dans un premier temps les principales caractéristiques de ce cadre socio-constructiviste. Nous envisagerons ensuite le concept de “résolution de problèmes” dans son approche psychologique et son contexte de la théorie du traitement de l’information. Nous terminerons en considérant son application dans les différentes disciplines scientifiques, mathématiques et physique d’une part, biologie d’autre part.

2.1. Un cadre général socio-constructiviste

Le constructivisme se constitue essentiellement au XX^e siècle (on peut citer cette pensée de Paul Valéry (1871-1945) : “*Entre l’être et le connaître, le faire*” (6)), notamment à partir des travaux de Piaget (Perraudau, 1996). “*L’intelligence (et donc l’action de connaître) ne débute ainsi ni par la connaissance du moi, ni par celle des choses, mais par celle de leur interaction. C’est en s’orientant simultanément vers les deux pôles de cette interaction qu’elle organise le monde en s’organisant elle-même.*” (Piaget, 1977). C’est donc par l’interaction entre les informations, les stimuli de l’environnement et les images mentales que s’en crée l’apprenant en état d’activité, qu’un processus d’apprentissage se déroule, que du savoir se construit. Ce dernier se constitue sur la base des connaissances précédentes.

interaction entre
les stimuli de
l’environnement
et les images
mentales

Parallèlement Vygotsky (1934) a introduit dans les processus d’apprentissage une dimension sociale. Il s’oppose ainsi à Piaget en prétendant qu’un apprentissage est d’abord une activité sociale, collective qui progressivement s’intériorisera. “*Chaque fonction psychique supérieure apparaît deux fois au cours du développement de l’enfant : d’abord comme activité collective, sociale et donc comme fonction interpsychique, puis la deuxième fois, comme activité individuelle, comme propriété intérieure de la pensée de l’enfant, comme fonction intrapsychique.*” (Vygotsky, 1935)

Ces idées sont à l’origine des “trois axiomes” du constructivisme didactique qui, bien qu’incomplètement cerné, n’en constitue pas moins une base nouvelle pour l’enseignement (Arca, Caravita, 1993 ; Loudon, Wallace, 1994) :

- *l’enfant est l’artisan de ses propres connaissances,*
- *toute connaissance se construit sur la base de connaissances précédentes,*
- *la connaissance se construit grâce aux conflits”* (Arca, Cavarita, 1993).

(5) “*Des groupes d’élèves peuvent réaliser simultanément des activités différentes et complémentaires dès lors qu’elles sont clairement situées dans une démarche d’investigation bien identifiée, qu’elles préparent une mise en commun et une confrontation des résultats et qu’elles alimentent la compréhension d’un même phénomène.*” Ministère de l’éducation nationale (1992). Nouveaux programmes des classes de seconde, première et terminale des lycées. B.O.E.N. (numéro hors série du 24 septembre 1992). Paris : CNDP.

(6) Valéry, P. (1979). *Cahiers (1884-1945)*. Paris : Gallimard, Coll. La Pléiade.

le débat
scientifique
dans la classe

De cette double approche (Piaget et Vygotsky) peut alors résulter une pratique pédagogique originale, permettant un échange entre apprenants pour la construction de leurs savoirs, au cours des séquences expérimentales. C'est celle du "débat scientifique" dans la classe (Johsua, Dupin, 1989, 1991). Elle fait de plus, référence au débat réel existant au sein d'une communauté scientifique lors de la production des savoirs. Ce transfert de comportement de la communauté scientifique à la classe permet alors l'établissement du concept de "pratique sociale de référence" (Martinand, 1986). En effet, l'activité de débat se déroulant en classe pour produire un savoir, ici scolaire, reproduit celle de chercheurs dans un laboratoire. Ce conflit socio-cognitif, "passage d'un conflit interpersonnel (le conflit de moi avec autrui) à un conflit intrapersonnel (le conflit de moi avec moi)" (Develay, 1996), conduisant à des décentrations est le moteur des apprentissages (Doise, Mugny, 1981). Il faut cependant noter que ce "débat entre pairs" ne peut constituer l'essentiel de l'activité pédagogique dans la construction du savoir. L'avis de l'expert (en l'occurrence, l'enseignant), représentant de ce savoir constitué apparaît à un moment nécessaire pour apporter, notamment, l'information nécessaire à la résolution du problème. Cependant, cette pratique semble un atout non négligeable dans la construction d'un savoir complexe (Johsua, Dupin, 1989, 1991 ; Legrand, 1988 ; Mourier, 1996).

2.2. Un cadre théorique : la théorie du traitement de l'information

connaissances
déclaratives et
procédurales

En liaison avec le développement de l'informatique, les psychologues cognitivistes, par analogie avec le fonctionnement de la mémoire d'un ordinateur, ont émis l'hypothèse de la structuration des connaissances en différentes "zones-mémoires". Ceci les a conduits à identifier deux types de connaissances : "Les connaissances déclaratives concernent le "savoir quoi" : c'est un savoir sur les états et les lois du monde (ou d'un domaine de connaissance donné). On les oppose aux connaissances procédurales qui concernent le "savoir-faire" ou le "savoir comment"." (Nguyen-Xuan, 1995). On retrouve chez d'autres auteurs des dénominations similaires du type savoir/savoir-faire ou savoirs théoriques/savoirs d'action (Barbier, 1996).

La connaissance déclarative la plus fondamentale est celle concernant les concepts. Un concept permet à un individu de percevoir, d'organiser, de se représenter et de comprendre le monde qui l'entoure. Il est nécessaire de distinguer deux types de concepts.

• Les concepts catégoriels

"C'est un symbole qui représente une classe d'objets (concrets ou abstraits) qui possèdent des propriétés communes." (Nguyen-Xuan, 1995). Ils correspondent à une mise en ordre du réel et s'appuient sur les catégories du langage. À partir

de cette définition, originellement produite en psychologie, il a été nécessaire de la rendre opérationnelle, dans le cadre de son application pédagogique.

Ce type de concept présente alors trois caractéristiques :

- une étiquette, la dénomination du concept,
- des attributs précisant les différents critères communs (définition en compréhension) à une liste,
- des exemples (définition en extension), (Barth, 1987 ; De Vecchi, Carmona-Magnaldi, 1996).

• Les concepts problématiques

Plus spécifiques de l'activité scientifique, *"ils sont le plus souvent présumés et c'est en les postulant qu'on rend possible une nouvelle vision des phénomènes naturels dont on renouvelle ainsi la compréhension"* (Cassirer, 1910).

un concept
scientifique
opérateur

Un concept scientifique remplit donc une fonction opératoire dans l'interprétation de certaines observations ou expériences. C'est un outil permettant d'appréhender efficacement la réalité. Il fonctionne toujours en relation avec d'autres concepts scientifiques. C'est un nœud dans un réseau cohérent et organisé de relations (Rumelhard, 1986). L'acquisition d'un concept semble initialement procéder par induction, de cas particuliers, on passe progressivement à une idée générale, *"par distinction des attributs essentiels constitutifs du concept de ce qui n'est qu'accessoire (attributs non essentiels)"* (De Vecchi, Carmona-Magnaldi, 1996).

Mais le concept ne sera définitivement assimilé que dans un cadre déductiviste, il faudra alors le réinvestir dans un ensemble de situations qui devront être de plus en plus décontextualisées par rapport à la situation d'apprentissage (Barth, 1987 ; Astolfi, 1992 ; Pierrard, 1993 ; De Vecchi, Carmona-Magnaldi, 1996).

2.3. Apprentissages et résolution de problèmes

Bien que dans un cadre béhavioriste Gagné (1970) place la résolution de problèmes au sommet de la hiérarchie des capacités que doit acquérir un apprenant, c'est dans le cadre plus interactionniste de la psychologie cognitive que s'est développé ce paradigme, avec Newell et Simon (*Human problem solving*, 1972) puis Polya (1975).

Dans ce cadre-là, *"un problème est défini par trois catégories d'éléments : la situation initiale, la situation terminale ou but à atteindre, les transformations (matérielles ou symboliques) permises pour y parvenir"* (Richard, 1984, 1995 ; Richard, Zamani, 1996).

l'espace du
problème

Ces trois éléments définissent l'espace du problème, c'est-à-dire *"l'espace des transformations à l'intérieur duquel le sujet explore pour parvenir à la solution"* (Richard, 1984). Nguyen-Xuan (1984) considère qu'une *"situation d'apprentissage est dite "apprentissage en résolvant des problèmes" si le sujet ne connaît pas d'avance le cheminement optimal l'amenant de l'état initial à l'état final, et si des essais successifs lui per-*

mettent de tendre vers le chemin optimal pour résoudre un problème (ou une classe de problèmes) donné. C'est par une mise en relation des données du problème avec les connaissances du sujet, stockées essentiellement dans sa mémoire à long terme, que s'établit une représentation mentale du problème propre au sujet et qu'une résolution pourra alors être envisagée. Lors de la résolution du problème, des rajustements des représentations du sujet, relatives à l'espace du problème, s'opèrent, conduisant alors parallèlement à un apprentissage (Hoc, 1984 ; Richard, 1984, 1995, 1996 ; Nguyen-Xuan, 1984).

Les connaissances initiales du sujet conditionnent la réussite du problème, elles peuvent être déclaratives et/ou procédurales. Ce sont :

- des situations de référence, des solutions à des problèmes qu'on a déjà su résoudre et dont on transfère les procédures de résolution (apprentissage par analogie, Nguyen-Xuan, 1995) ; cependant, le plus souvent il est nécessaire d'adapter la procédure employée ;
- des procédures connues pour résoudre une classe de problèmes ;
- des connaissances particulières au domaine concerné par le problème (Caillot, 1984 ; Caillot, Mathieu, 1985 ; Dumas-Carré, 1987 ; Dumas-Carré, Gil, Goffard, 1992).

Ces connaissances initiales, leur structuration au sein du réseau général des savoirs du sujet, des savoirs concernant le domaine du problème et leurs mises en relation sont les facteurs qui déterminent le succès dans la résolution de ce dernier. Ces éléments permettront de distinguer l'expert du novice. Ceci est particulièrement notable dans l'élaboration de la représentation initiale du problème (Caillot, 1984 ; Richard, 1984, 1995, 1996).

L'expert, par une approche déductive, en liaison avec ses connaissances du domaine du problème, établit un ensemble de relations pertinentes et de déductions appropriées qui lui permettront d'arriver de façon optimale à une formulation correcte du problème. Cette dernière lui en permettra alors une résolution rapide, correspondant à un cheminement minimal dans l'espace problème. Sa stratégie est progressive.

Au contraire le novice, lui, a une démarche générale, régressive, par tâtonnement, procédant d'une heuristique générale non spécifique du domaine concerné. Elle peut le plus souvent conduire à un échec dans la résolution du problème (Richard, 1984, 1995 ; Caillot, 1984 ; Caillot, Mathieu, 1985 ; Bastien, 1984 ; Nguyen-Xuan, 1984, 1995 ; Dumas-Carré, 1987 ; Dumas-Carré, Goffard, Gil, 1992).

Cette question des connaissances préalables pose également la difficulté de la reconnaissance du problème en tant que tel par le sujet (Garett, 1987 ; Bar Haïm, 1988 ; Drevillon, 1988). *"Une situation tout à fait étrangère à l'"Umwelt" de l'élève n'est pas un problème. Une situation très familière ne l'est pas*

distinguer l'expert
et le novice

reconnaissance
du problème
en tant que tel

davantage : elle suscite tout au plus des procédures précur­sives." (Dré­villon, 1988). On rejoint ici le concept psychologique de *zone proximale*, défini par Vytgosky (1934, 1935) ainsi que le concept pédagogique de *niveau de formulation*, adapté à l'apprenant, dans un champ de validité donné. La question du sens du problème pour l'apprenant et corrélativement sa motivation pour l'exercice proposé (De Vecchi, Carmona-Magnaldi, 1996), sa créativité et son originalité (Garett, 1987) sont également des facteurs à prendre en considération. Un apprentissage, lors d'une résolution de problème, est donc lié à un ensemble de contraintes liées "à la situation, au fonctionnement psychologique du sujet, au contenu de la tâche" (Léonard, 1988).

La psychologie cognitive apporte un ensemble important d'informations quant à la résolution de problèmes et à l'apprentissage concomitant qui peut en résulter. Cependant, il est nécessaire de noter que le cadre fourni par cette dernière impose une définition du problème où la solution est déjà incluse dans l'espace cognitif de l'apprenant, l'accent étant mis sur les processus de transformation partant d'une situation initiale vers une situation finale unique, préalablement située dans un ensemble de situations finales accessibles à la pensée de l'apprenant. Dans sa définition du problème, elle évacue donc les problèmes sans solutions apparentes, voire sans solution du tout, qui sont eux, présents dans le domaine de la recherche scientifique. Remarquons également que les processus de problématisation, de construction et de formulation du problème sont sous-estimés dans cette théorie. Pour finir, rappelons qu'il existe, outre le cadre de la résolution de problèmes comme moyen d'acquisition de savoirs, d'autres théories d'apprentissage (Host, 1982, 1985; Not, 1979).

évacuer
les problèmes
sans solution

2.4. La résolution de problèmes en physique

C'est dans les années soixante-dix, dans le domaine de la didactique des mathématiques que s'est initialement développée une pédagogie par résolution de problèmes (Gillis, Guillaume, 1995). C'est initialement "le décalage entre les compétences calculatoires des élèves et le recours adapté à celles-ci dans des tâches relevant de la résolution de problèmes" qui a intéressé les chercheurs en didactique des mathématiques (Escarabajal, 1984).

C'est ensuite dans le domaine de l'enseignement de la physique où l'activité de résolution de problèmes, de type papier/crayon, tient également une grande place que se sont développées les recherches didactiques. Suite au constat qu'"après avoir passé autant de temps à résoudre des problèmes, on pourrait s'attendre à ce que les élèves soient de bons solveurs. Or, il n'en est rien et, à tous les niveaux, lycée aussi bien qu'université, on reconnaît que, en définitive, une très faible proportion d'élèves est capable de performances satisfaisantes, dès lors que le problème à résoudre s'éloigne,

les problèmes
de type
papier/crayon

si peu que ce soit, de la simple répétition d'un exercice déjà vu." (Dumas-Carré et al., 1989)

Une nouvelle conception de l'activité de résolution de problèmes (de style crayon/papier, essentiellement) est alors élaborée (Dumas-Carré, 1987 ; Caillot, Dumas-Carré, 1987 ; Dumas-Carré, Caillot, Martinez-Torregrossa, Gil, 1989 ; Dumas-Carré, Goffard, Gil, 1992 ; Dumas-Carré, Goffard, 1993a, 1993b ; Goffard, 1994). Elle passe par :

- la reconnaissance de l'existence d'un problème ;
- la compréhension-représentation qualitative du problème en interaction avec la simplification et la modélisation de la solution ;
- le choix d'hypothèses ;
- les choix, les chemins de résolution alternatifs ;
- la résolution littérale, la résolution numérique ;
- l'analyse critique du résultat, les vérifications." (Dumas-Carré, et al., 1989)

Par rapport à la définition du concept de problème utilisé en psychologie cognitive, il apparaît ici une conception beaucoup plus ouverte de la notion de résolution de problème : *"ceci implique que l'individu concerné ait conscience d'un but à atteindre, même si ce but est très vague et, à cet instant très mal formulé."* (Dumas-Carré et al., 1989). En effet, il apparaît pour certains auteurs, que lors de l'étude de situations complexes, une part importante de l'activité d'apprentissage va non seulement se retrouver dans la résolution du problème, mais surtout dans sa formulation, dans la problématisation (Johsua, Dupin, 1989 ; Casonato, 1992 ; Fabre, 1993). Le cheminement intellectuel est alors du type "formulation initiale du problème, essai de résolution, reformulation du problème...", la formulation finale du problème contenant en elle, la solution à ce dernier. *"Une question ne paraît jamais bien posée qu'au moment où elle reçoit une solution, c'est-à-dire au moment où elle s'évanouit comme question."* (Canguilhem, 1968). C'est au cours de ces étapes de problématisation que pourront s'exprimer au mieux, la créativité, l'originalité et l'imagination de l'apprenant (Garrett, 1987), caractéristiques de l'activité scientifique... et artistique. *"Pour apporter une observation de quelque valeur, il faut déjà, au départ, avoir une idée de ce qu'il y a à observer. Il faut avoir décidé ce qui est possible, grâce à une certaine idée de ce que peut bien être la réalité, grâce à l'invention d'un monde possible."* (F. Jacob, 1989)

la formulation finale contient la solution

inventer un monde possible

Dans la construction d'un savoir complexe, la problématisation représente donc une phase active propre à chaque individu, à chaque apprenant où une part importante de créativité et d'originalité doit s'exprimer. Cette conception de la construction de son savoir par chaque apprenant va alors à l'encontre des pédagogies de la redécouverte présentées par Brunold (1948) qui, utilisant l'histoire des sciences, considérait que le cheminement intellectuel de l'élève était comparable au cheminement de l'humanité dans l'acquisi-

tion de sa pensée scientifique et technique. Ce type de pédagogie peut alors être considéré comme "l'ennemi de l'imagination scientifique en classe! C'est elle qui oblige maîtres et élèves à d'impossibles contorsions pour faire semblant d'établir empiriquement... ce qui est un résultat obligé souvent déjà connu. Gohau (1983) la qualifiait de *crypto-dogmatique*, et elle n'est peut-être finalement que *procédé rhétorique*." (Astolfi, 1996)

2.5. Procédures d'apprentissage et problèmes en biologie

En sciences de la vie, il apparaît que "*l'enseignement scientifique doit être centré sur les concepts*" (Rumelhard, 1986). Ces concepts doivent être progressivement structurés et reliés au sein d'un réseau aux autres concepts du champ d'étude du domaine biologique considéré. La complexité de l'apprentissage et la complexité des concepts utilisés en biologie semblent en contradiction avec une simple activité de résolution de problèmes qui "*ne peut déboucher que sur des acquis ponctuels et non sur des notions générales*" (Astolfi, 1980).

les théories de
l'apprentissage

Cette idée se développa en liaison avec la théorie d'apprentissage d'Ausubel (1968) et de Novak (1977) qui l'adapta à la biologie. "*L'une des idées essentielles est que le facteur majeur qui détermine un apprentissage nouveau, c'est l'état antérieur de la structure cognitive du sujet. En effet, un apprentissage signifiant, à la différence d'une mémorisation mécanique, constitue un processus dynamique qui associe selon le schéma suivant, information nouvelle et structure cognitive :*

$$A+a \rightarrow A'a'$$

A : concept existant dans la structure cognitive.

a : nouvelle information s'y rapportant.

A'a' : concept modifié dans la structure cognitive." (Astolfi, Demounem, 1996)

D'après ce modèle, ce qui est mis en avant lors d'un apprentissage, ce sont les aspects dynamiques, les liens fonctionnels que vont établir entre eux les concepts ("*les ponts cognitifs*" d'Ausubel), plus que les concepts eux-mêmes. On peut alors justement reprocher à la résolution de problèmes, telle qu'elle est envisagée dans le cadre de la psychologie cognitive, de ne permettre que la construction des concepts eux-mêmes, laissant alors au second plan l'élaboration des liens qui permettront de les faire fonctionner entre eux.

En biologie, la complexité des structures offertes à l'expérience de l'apprenant est importante. Pour appréhender des systèmes aussi complexes qu'un écosystème ou la régulation de la pression artérielle, il lui faudra le plus souvent construire une modélisation des phénomènes rencontrés,

dépasser
l'émiettement
des problèmes

mais surtout il devra combiner, associer, faire fonctionner conjointement tout un ensemble de concepts. En fait, même si l'activité de résolution de problèmes est utilisée pour construire un concept, *"l'appropriation du savoir scientifique nécessite le dépassement des moments de structuration liés à la résolution d'un problème précis"* (Giordan et al., 1983). Des généralisations par extension, remodelage, emboîtement (Astolfi, 1980, 1985 ; Giordan et al., 1983) seront ultérieurement nécessaires pour structurer et faire fonctionner les concepts entre eux de façon à accéder à l'appropriation totale du savoir scientifique.

les problèmes au
baccalauréat

Les problèmes traditionnellement utilisés en biologie entrent-ils dans le cadre que l'on vient de déterminer, permettent-ils un apprentissage effectif? C'est au milieu des années soixante-dix que l'examen du baccalauréat prend la forme en sciences naturelles de "problème à résoudre". La génétique est proposée comme archétype de cette forme d'évaluation, à l'imitation des problèmes de physique et de mathématique (Rumelhard, 1997). Dans la situation la meilleure, où un ensemble de documents retraçant le déroulement d'une expérience est donné à l'apprenant, on lui demandera au mieux, par l'intermédiaire de questions, de retrouver et de reformuler le problème et les hypothèses de recherche qui ont été à l'origine de l'expérimentation. Cependant le plus souvent ces documents ne constituent que des aides-mémoires permettant une restitution de connaissances, *"la description de la méthode a été simplifiée au point, non seulement de dénaturer la signification de l'expérience mais de lui retirer toute signification, et le sujet apparemment expérimental est en fait un sujet de pure mémoire"* (Gribenski, 1979). En écho à l'épreuve du baccalauréat, les problèmes, moins utilisés en biologie qu'en physique, constituent dans la pratique des enseignants un des outils de l'évaluation sommative. Cependant tels qu'ils sont le plus souvent construits actuellement, *"ils ne permettent pas d'évaluer plus l'intelligence que la mémoire des élèves"* (Gueye, 1989). Dans l'état actuel des choses, tel qu'il est construit, le problème en biologie favorise plus la restitution des connaissances que la réflexion. Ce dernier, de ce fait, ne paraît donc pas comme étant un outil permettant la construction non seulement de concepts, mais également de liens fonctionnels entre ces concepts.

efficacité
différente
suivant
les disciplines

En conclusion, les données fournies par la psychologie cognitive font apparaître qu'un processus de résolution de problèmes peut être producteur de savoirs pour un apprenant. Dans le cadre de l'enseignement des mathématiques et des sciences, la résolution de problèmes semble particulièrement efficace dans le domaine des mathématiques et dans une certaine mesure, de la physique, jusqu'à en faire *"un nouveau savoir scolaire"* (Gilis, Guillaume, 1995). Dans le domaine de la biologie, en liaison avec la complexité des concepts abordés et surtout des connexions qu'il est en per-

manence nécessaire d'établir entre eux, cette méthode ne semble pas à elle seule suffisante. De ce fait, pour améliorer l'efficacité de cette pratique pédagogique dans le domaine de l'enseignement des sciences, il semble nécessaire de porter l'attention sur deux points essentiels :

- la problématisation amenant à une méthodologie du type formulation de problème - résolution - reformulation ;
- le moyen d'optimiser chez l'apprenant un fonctionnement dynamique de mise en relation active entre différents concepts associés dans des ensembles structurés.

3. UN OUTIL DIDACTIQUE : LA SITUATION-PROBLÈME

En 1987, Meirieu se positionnant entre *"la pédagogie de la réponse qui se contente de livrer des explications correctement agencées"* et *"les pédagogies du problème qui mettent l'élève en face d'une tâche susceptible de le mobiliser et à l'occasion de laquelle on cherchera à lui faire effectuer des apprentissages précis (...), mais sans que rien ne garantisse la progressivité des difficultés ou que "la bonne question" vienne au bon moment"*, estime qu'il serait utile d'adopter un modèle d'organisation de l'enseignement à partir de la notion de situation-problème : *"cela impose que l'on s'assure, à la fois, de l'existence d'un problème à résoudre et de l'impossibilité de résoudre le problème sans apprendre"*.

les situations
problèmes

Dans l'enseignement des sciences, la situation-problème prend appui sur les conceptions et les obstacles didactiques des apprenants. Avant de caractériser plus avant la situation-problème, nous verrons donc, dans un premier temps, quelques données sur les conceptions et obstacles des élèves, puis comment dans un cadre institutionnel où des programmes scolaires existent et où une efficacité de l'enseignement doit apparaître, il est possible d'associer obstacle didactique et objectif pédagogique, par la constitution du concept d'objectif-obstacle.

3.1. Les conceptions des apprenants

C'est à partir du concept d'obstacle épistémologique (Bachelard, 1938) que se sont développées les études en rapport avec les conceptions des apprenants. Nous ne ferons pas, ici, de distinction entre conceptions et représentations (Ridao, 1993 ; Chappaz, 1993). En fait, un ensemble d'autres termes recoupe le même concept, certains mettant l'accent sur le contenu erroné des connaissances initiales (*misconception*), d'autres sur leur fonction négative (blocage, déviation) ou positive (aide, niveau de formulation provisoire, travail résistant) (Rumelhard, 1996) : *"Le terme de résistance, ou mieux encore de travail résistant évoque par l'ambivalence de ses significations et la grande extension de*

le travail résistant

ses usages une double fonction et une action exigeant un effort. Le terme est en effet utilisé en physique, biologie, histoire économique et sociale, psychologie... Il fait autant référence à l'analyse objective d'une situation qu'au sentiment vécu, au ressenti subjectif."

Une conception est un moyen que s'est donné un apprenant pour décoder la réalité, elle constitue un filtre d'analyse du réel, plus exactement, "c'est un ensemble de connaissances, un langage, une manière de voir, une représentation – erronée – mais qui a été engagée avec quelques succès dans une famille d'actions, ou comme moyen d'expression, ou dans des jugements (elle a permis une certaine réussite au sujet)" (Brousseau, 1989). (Astolfi, 1978 ; Giordan et al., 1983 ; De Vecchi, 1984, 1992 ; Rumelhard, 1986 ; Giordan, De Vecchi, 1987 ; Desautels, 1989 ; Astolfi, Develay, 1993 ; Giordan, De Vecchi, 1994).

De nombreuses conceptions ont déjà été identifiées en biologie dans le domaine de la physiologie digestive (Sauvageot-Skibine, 1991 ; Clément, 1991) ou respiratoire (Vuala, 1991 ; Paccaud, 1991), ainsi qu'en génétique (Rumelhard, 1980, 1986 ; Martins, Ogborn, 1997) et en immunologie (Bihouès, Malot, 1990), voire en chimie (Carretto, Viovy, 1994 ; Barak, Gorodetsky, Chipman, 1997) et en géologie (Monchamp, Sauvageot-Skibine, 1995 ; Allain, 1995 ; Laperrière-Tacussel, 1995, Orange, 1993, 1995 ; Goix, 1995).

Rumelhard (1996) propose d'en distinguer trois catégories :
 - les représentations liées au savoir factuel et conceptuel ;
 - les représentations liées à la production du savoir et à l'activité scientifique ;
 - les représentations liées au rapport au savoir."

C'est avec ce "déjà-là" conceptuel le plus souvent faux scientifiquement, mais qui sert cependant d'explication efficace et fonctionnelle, que va interférer tout apprentissage scientifique. C'est à partir de lui, en le modifiant, qu'il faudra progressivement construire le concept scientifique (Baumard, Busnel, Dugast, 1993 ; Larcher, Chomat, Linéatte, 1994 ; Sauvageot-Skibine, 1995 ; Allain, 1995 ; De Vecchi, Carmona-Magnaldi, 1996). Une difficulté apparaît alors. En effet, cette modification progressive des conceptions, prônée par une majorité de chercheurs, s'oppose à l'idée d'un franchissement d'obstacle, à l'idée de "catharsis intellectuelle" qui apparaît comme étant un phénomène beaucoup plus concentré conceptuellement et temporellement. Une distinction doit alors être faite entre représentation et obstacle (Astolfi, Peterfalvi, 1993), "On peut dire que l'obstacle présente un caractère plus général et plus transversal que la représentation : il est ce qui, en profondeur, l'explique, la stabilise."

Les obstacles sont caractérisés par deux propriétés fondamentales : leur résistance et leur transversalité (Jonnaert, 1988). Ces obstacles, noyaux durs des représentations,

distinguer
représentation
et obstacle

“correspondent à ce qui fait vraiment résistance aux apprentissages et aux raisonnements scientifiques, tout en répondant de façon conforme aux besoins d’explication des enfants. Ils permettent de dégager le sens des représentations en permettant d’en construire l’interprétation.” (Astolfi, Peterfalvi, 1993). Il semble donc que c’est autour de ces obstacles, qu’il faudra préalablement, au mieux, cerner au sein des représentations, que les situations-problèmes devront être élaborées.

3.2. Le concept d’objectif-obstacle

les obstacles ont
une signification
profonde

L’enseignement scientifique doit être un enseignement de concepts (Rumelhard, 1986) organisés au sein de réseaux. Or, le savoir, généralement, se construit contre un savoir “déjà-là”, en franchissant un obstacle. Ces obstacles constituent donc “les buts essentiels d’une éducation scientifique” (Martinand, 1986, 1989). “Dans la mesure où ces obstacles ont une signification épistémologique profonde, je crois qu’ils fournissent la clé pour formuler les buts les plus essentiels d’une éducation scientifique.” (Martinand, 1989)

véritables
objectifs de
l’enseignement
scientifique

C’est donc autour d’eux que doivent s’organiser, se construire les situations didactiques d’apprentissage (Astolfi, 1991 ; Astolfi, Peterfalvi, 1993 ; De Vecchi, Carmona-Magnaldi, 1996). Les programmes d’enseignement devraient donc être construits autour d’“un nombre limité de progrès décisifs, non acquis spontanément, mais qui ont une signification du point de vue de la pensée scientifique ou technologique, des attitudes et capacités correspondantes” (Martinand, 1986).

Ces éléments paraissent donc présenter une plus grande aptitude à constituer les véritables objectifs de l’enseignement scientifique, en remplacement des objectifs-capacités (De Landsheere G., De Landsheere V., 1976 ; D’Hainault, 1977) utilisés antérieurement avec plus ou moins de succès et où l’apprenant et ses conceptions ne sont pas pris en compte. “Il s’agit d’exprimer les objectifs en termes d’obstacles franchissables, car parmi la diversité des objectifs possibles les objectifs intéressants sont les objectifs-obstacles.” Il semble donc nécessaire, en suivant dans un premier temps, cette argumentation jusqu’au bout, d’organiser les programmes d’enseignement en fonction de ces nouveaux objets didactiques que sont les objectifs-obstacles, points de rencontre de deux approches pédagogiques différentes. “L’ambition pratique est donc de fournir aux maîtres, avec une liste d’obstacles à franchir par les élèves, la description des buts, des activités afin de permettre d’orienter les interventions pédagogiques de l’évaluation.” (Martinand, 1986)

3.3. Caractérisation des situations-problèmes

problème ouvert

Le problème ayant une place majeure dans l’enseignement des mathématiques, c’est là, qu’à partir du concept de pro-

blème ouvert (problème à énoncé court, n'induisant ni la méthode, ni la solution et qui se trouve dans un domaine conceptuel avec lequel l'élève a assez de familiarité pour prendre facilement possession de la situation et s'engager dans des essais, des conjectures, des projets de résolution, des contre-exemples) se met en place assez rapidement la pratique de la situation-problème (Arsac, Germain, Mante, 1988 ; Verdier 1988).

C'est à partir de 1990 qu'un ensemble d'études permet d'élaborer une grille d'analyse des situations-problèmes et ainsi de les caractériser dans le domaine des sciences expérimentales (Orange C., Orange D., 1993a ; Robardet, 1990, 1995 ; Sauvageot-Skibine, 1995). Une situation-problème est organisée autour du franchissement d'un obstacle par la classe, obstacle préalablement bien identifié, qui peut alors constituer un objectif-obstacle. Le franchissement de l'obstacle amène à un remaniement des conceptions, à la construction d'un concept scientifique. La situation-problème se caractérise pour Orange C. et Orange D. (1993a) par deux étapes liées dans le temps : *"un temps de déstabilisation où la faiblesse des modèles initiaux doit être bien perçue et comprise par les élèves (cela ne peut se réduire à un jugement du professeur) ; un temps de restabilisation qui permet à l'élève d'adopter une nouvelle conception"*.

Robardet (1990, 1995) et Sauvageot-Skibine (1995) insistent eux, davantage sur les éléments devant caractériser la première étape :

"- L'étude s'organise autour d'une situation à caractère concret qui permette effectivement à l'élève de formuler hypothèses et conjectures. (...)

- Les élèves doivent percevoir la situation qui leur est proposée comme une véritable énigme à résoudre dans laquelle ils sont en mesure de s'investir." (Sauvageot-Skibine, 1995). C'est la dévolution du problème (Astolfi, Peterfalvi, 1993 ; De Vecchi, Carmona-Magnaldi, 1996).

Notons que l'emploi du terme "énigme" rejoint l'utilisation qui en était faite par Orange (1993) dans sa description de la théorie de Kuhn relative aux "structures des révolutions scientifiques". Ce dernier en déduit alors que les situations-problèmes sont particulièrement adaptées aux problèmes extraordinaires permettant le franchissement d'obstacles que l'on peut relier historiquement à une "révolution scientifique" (Orange, 1993). Il induit de ce fait une limitation théorique à la quantité de situations-problèmes réellement utilisables lors de l'application des programmes d'enseignement. Ceci semble alors contradictoire avec ce que dit Robardet (1995) qui signale que plusieurs situations-problèmes parallèles sont le plus souvent nécessaires à la construction du même concept.

"- Les élèves ne disposent pas au départ, des moyens de la solution recherchée. (...) C'est le besoin de résoudre qui conduit l'élève à élaborer ou à s'approprier collectivement les

une véritable
énigme à
résoudre

instruments intellectuels qui seront nécessaires à la construction d'une solution." (Sauvageot-Skibine, 1995)

Notons que "ce besoin de résoudre" ne peut exister que si le problème a un sens pour l'élève (De Vecchi, Carmona-Magnaldi, 1996) "*car l'absence ou la non transparence du sens pour l'élève ne conduit-elle pas le plus souvent à des pratiques démobilisatrices ou anesthésiantes?*" La situation doit offrir une solution accessible à l'élève.

travailler dans
une zone
proximale

"- L'activité doit travailler dans une zone proximale propice au défi intellectuel à relever.

- Le travail de la situation-problème fonctionne sur le mode du débat scientifique à l'intérieur de la classe, stimulant les conflits socio-cognitifs potentiels." Les élèves engagent leur opinion et sont concernés par la résolution du problème. "*Cette dernière résulte du mode de structuration de la situation elle-même.*" (Sauvageot-Skibine, 1995)

En sciences expérimentales, les comptes rendus d'utilisation de situations-problèmes en classe restent peu importants (Cañal, 1992; Orange C., Orange D., 1993a; Pinelli, 1994; Sauvageot-skibine, 1995). Doit-on considérer ce fait comme étant un indice d'une faible pratique de la situation-problème? Orange C. et Orange D. (1993a) considèrent en effet que :

"La situation-problème n'est aucunement une méthode universelle pouvant être employée tout au long du programme et ce, pour deux séries de raisons :

- tout d'abord parce ce qu'elle est relativement gourmande en temps (...), en temps d'enseignement (...) et en temps de préparation pour l'enseignant; (...)

- mais surtout une situation-problème n'est adaptée qu'à des objectifs d'apprentissage bien particuliers : ceux qui correspondent à un changement radical de conception des élèves."

une pratique
parmi d'autres

Astolfi (1992) indique également qu'en fonction des parties d'un programme à enseigner, dans les conditions actuelles d'enseignement, doivent coexister les différentes pratiques pédagogiques, la situation-problème n'étant qu'une pratique parmi les autres (modèle dans "l'épaisseur de la tranche") (Delattre, 1993). L'argument de l'unique adaptation de la situation-problème à des objectifs d'apprentissage bien particuliers est également utilisé pour expliquer sa faible utilisation dans les pratiques pédagogiques des enseignants d'autres disciplines, telles qu'en sciences sociales et en histoire-géographie (Tutiaux-Guillon, Pouette, 1993; Gérin-Grateloup, Solonel, Tutiaux-Guillon, 1994) : "*Ainsi la situation-problème est un outil séduisant. Elle permet aux élèves de dépasser certains blocages, d'acquérir un savoir conceptuel plus pertinent. Mais par rapport aux contenus et aux finalités de notre enseignement, sa place ne peut être que marginale : sans savoir normatif, sans évaluation ordinaire, fondée sur un débat légitime et fécond, objet d'enseignement nécessairement unique, elle apparaît comme un moment excep-*

tionnel dans nos disciplines." (Tutiaux-Guillon, Pouettré, 1993)

En conclusion, il apparaît que la situation-problème semble être un outil performant dans le franchissement d'obstacles et la construction de savoirs par les apprenants. Cependant, elle semble n'être pour le moment qu'un outil exceptionnel dans la pratique de classe. Pour certains, sa définition même la limite intrinsèquement à une accentuation d'utilisation (Orange C., Orange D., 1993a). Pour d'autres, ce sont la structure des programmes et l'organisation des curriculums qui sont limitantes (Tutiaux-Guillon, Pouettré, 1993; Gérin-Grateloup, Solonel, Tutiaux-Guillon, 1994). Enfin, certains considèrent qu'une multiplication des situations-problèmes est nécessaire à la construction d'un seul concept (Robardet, 1995). Des extensions de définition sont également envisagées et le concept de situation-image, est apparu dans le cadre d'un apprentissage scientifique, à l'école élémentaire (Mottet, 1996).

CONCLUSION

le problème
comme
moteur de
l'apprentissage

Le problème est le moteur de l'activité scientifique, il est également le moteur de tout apprentissage. Cet axiome fondamental de la psychologie cognitive fait de la résolution de problèmes un processus intellectuel majeur dans l'acquisition des savoirs. Cependant, la définition qu'elle donne à cette activité mentale (transformations matérielles ou symboliques permettant de passer d'un état initial à un état final) est très restrictive et ne correspond pas totalement à une activité de recherche scientifique. Elle a cependant été utilisée avec un certain succès dans l'enseignement des mathématiques et dans une certaine mesure de la physique, domaines où les éléments d'un problème peuvent être cernés assez nettement.

Dans des domaines plus complexes (physique, biologie, technologie), le problème n'apparaît pas simplement, il faut d'abord le construire, le formuler puis essayer de le résoudre et le reformuler encore. Au cours de cette activité de problématisation, la construction du savoir se produira tout autant que lors de sa résolution. D'ailleurs, Canguilhem n'a-t-il pas dit que lorsque le problème est enfin correctement formulé, il est aussi quasiment résolu ?

l'activité de
problématisation
est essentielle

Cette activité de problématisation se rapproche d'ailleurs davantage de l'activité du chercheur scientifique, référence de l'enseignement des sciences expérimentales. C'est donc une activité pédagogique fondamentale pour la construction des concepts scientifiques. Elle est tout compte fait mise au centre des enseignements par les instructions officielles, même si, en pratique, certaines dérives dogmatiques en découlent.

Un problème scientifique est cependant totalement différent d'un problème pratique de la pensée commune, il permet dans sa formulation et sa résolution la construction de savoirs, mais ces savoirs sont construits contre des conceptions déjà présentes dans l'intellect de l'apprenant. Ces conceptions produisent des obstacles à l'acquisition des savoirs qu'il est nécessaire de renverser pour construire un concept scientifique. En alliant conceptions-obstacles et construction de savoirs par problèmes, un outil didactique a été construit : la situation-problème.

des recherches futures à envisager sur la situation-problème

Un ensemble de recherches futures peut être envisagé dans ce domaine. En effet, le concept didactique de situation-problème est un concept assez récent et il semble nécessaire de le caractériser davantage. Quelle que soit la discipline d'enseignement, peu de résultats existent quant à la mise en place de son application. La situation-problème semble un outil parfaitement adapté à la construction des savoirs. Cependant, les études réalisées jusqu'à maintenant ont mis essentiellement l'accent sur l'acquisition des concepts, les savoirs déclaratifs, qu'en est-il alors de l'acquisition des savoirs procéduraux lors des situations-problèmes ?

outil cantonné à certains concepts ?

Doit-il rester un outil uniquement cantonné à certaines phases d'enseignement (Tutiaux-Guillon, Pouette, 1993 ; Gérin-Grateloup, Solonel, Tutiaux-Guillon, 1994) en raison de contenus curriculaires incompatibles à l'utilisation de cet outil ? Ne doit-il être utilisé que pour la construction de certains concepts qualifiés, d'un point de vue épistémologique de "révolutionnaires" (Orange C, Orange D., 1996) ? Une seule situation-problème est-elle nécessaire et suffisante à la construction du concept ? (Robardet, 1995). Un nécessaire recueil d'informations semble donc fondamental pour caractériser davantage cet outil et lever un ensemble d'incertitudes existantes.

La situation-problème fonctionne à partir des conceptions des élèves et des obstacles didactiques. De nombreuses études ont déjà été réalisées à leurs sujets. Il semble cependant nécessaire de faire un tri parmi les obstacles, dans le but de les faire fonctionner avec les programmes d'enseignement. Comme le préconise Martinand (1989), il faudrait ainsi proposer un ensemble limité d'objectifs-obstacles dans ces derniers. Cependant, pour que ce concept puisse fonctionner, il faut, en parallèle, proposer des outils aux enseignants, pour lever ces obstacles. Les situations-problèmes semblent en être de bonnes candidates. Encore faut-il s'assurer de la réelle efficacité de cet outil pour un objectif-obstacle identifié et préconisé. Il semble donc essentiel de comparer l'acquisition d'un même concept dans des situations didactiques différentes. Dans l'affirmative, il pourrait être éventuellement possible de construire un ensemble d'outils d'aide aux enseignants (des squelettes de situations-problèmes ?), ces derniers pouvant les adapter, en toute liberté, à leur propre situation pédagogique.

Cependant, il va sans dire, qu'à coté des situations-problèmes, d'autres outils didactiques doivent également être utilisés. Les pratiques pédagogiques plus traditionnelles (les modèles "liquides" et "en granules" (Astolfi, 1992)) ont également toujours leur place dans l'enseignement des sciences expérimentales. C'est la diversité qui permet de progresser.

Philippe BRUNET
Lycée de Brie Comte Robert
LIREST, ENS Cachan

BIBLIOGRAPHIE

1. Épistémologie et histoire des sciences

1.1. Ouvrages

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

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

CANGUILHEM, G. (1965). *La connaissance de la vie*. Paris : Vrin. (Deuxième édition augmentée).

CANGUILHEM, G. (1968). *Études d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris : Vrin. (Septième édition augmentée 1994).

CASSIRER, E. (1977). *Substance et fonction. Éléments pour une théorie du concept*. Paris : Éditions de Minuit. (Première édition 1910).

CHALMERS, A. (1991). *La fabrication de la science*. Paris : La découverte.

CHALMERS, A. (1995). *Qu'est-ce que la science ?* Paris : Le livre de poche (collection : Biblio essais). (Première édition 1976).

COMTE, A. (1989). *Cours de philosophie positive*. Paris : Nathan. (Première édition 1832).

GIORDAN, A. (dir.), (1987). *Histoire de la biologie. Tomes I et II*. Paris : Technique et documentation, Lavoisier.

GRMEK, M. (1991). *Claude Bernard et la méthode expérimentale*. Paris : Petite Bibliothèque Payot. (Première édition 1973).

JACOB, F. (1989). *Le jeu des possibles*. Paris : Le livre de poche (collection : Biblio essais). (Première édition 1981).

KUHN, T. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion (collection : Champs). (Première édition élargie 1970).

KUHN, T. (1992). *La révolution copernicienne*. Paris : Le livre de poche (collection : Biblio essais). (Première édition 1957).

LAKATOS, I. (1985). *Preuves et réfutations*. Paris : Hermann. (Première édition 1976).

LATOUR, B., WOOLGAR, S. (1988). *La vie de laboratoire. La production des faits scientifiques*. Paris : La découverte. (Première édition 1979).

LAUDAN, L. (1977). *La dynamique de la science*. Bruxelles : Mardaga.

POPPER, K. (1978). *La connaissance objective*. Paris : Les éditions complexes. (Première édition 1972).

POPPER, K. (1985). *Conjectures et réfutations*. Paris : Payot. (Première édition 1963).

POPPER, K. (1988). *La logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot. (Première édition 1959).

1.2. Articles, chapitres

ANDLER, D. (1987). Problème, une clé universelle? In Stengers, I. (dir.). *D'une science à l'autre, des concepts nomades* (pp. 119-159). Paris : Seuil.

KERLAN, A. (1993). Didactique et épistémologie : éclairages bachelardiens. *Aster*, 5, (*Didactique et histoire des sciences*), 71-86. Paris : INRP.

LATOUR, B. (1996). Avons-nous besoin de "paradigmes"? *La recherche*, 290, septembre, 84.

ROSMORDUC, J. (1987). L'histoire de la physique peut-elle éclairer les obstacles épistémologiques? *Aster*, 5, (*Didactique et histoire des sciences*), 117-142. Paris : INRP.

ROSMORDUC, J. (1993). L'histoire des sciences et leurs didactiques. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle, Didactique IV*, avril-mai, 153-172.

SERRES, M. (1989). Préface qui invite le lecteur à ne pas négliger de la lire pour entrer dans l'intention des auteurs et comprendre l'agencement de ce livre. In Serres, M. (dir.). *Éléments d'histoire des sciences*. Paris : Bordas.

2. Psychologie cognitive, théories de l'apprentissage

2.1. Ouvrages

AUSUBEL, D. (1968). *Educational psychology : a cognitive view*. New York : HRW.

BARBIER, J.-M. (éd.) (1996). *Savoirs théoriques et savoirs d'action*. Paris : PUF.

BARTH, B.M. (1987). *L'apprentissage de l'abstraction. Méthodes pour une meilleure réussite de l'école*. Paris : Retz.

BRUNOLD, C. (1948). *Esquisse d'une pédagogie de la redécouverte dans l'enseignement des sciences*. Paris : Masson.

GAGNÉ, R.M. (1976). *Les principes fondamentaux de l'apprentissage. Application à l'enseignement*. Montréal : HRW. (Première édition, 1970).

DE LANDSHEERE, G., DE LANDSHEERE, V. (1976). *Définir les objectifs de l'éducation*. Paris : PUF.

D'HAINAULT, G. (1980). *Des fins aux objectifs de l'éducation*. Paris : Nathan. (Première édition 1977).

DELEDALLE, G. (1995). *John Dewey*. Paris : PUF (collection : *Pédagogues et pédagogies*).

DOISE, W., MUGNY, G. (1981). *Le développement social de l'intelligence*. Paris : Interéditions.

LE MOIGNE, J.-L. (1995). *Les épistémologies constructivistes*. Paris : PUF (collection : *Que sais-je ?*).

MEIRIEU, P. (1995). *Apprendre... oui, mais comment ?* Paris : ESF. (Première édition 1987).

NEWELL, A., SIMON, H.A. (1972). *Human problem solving*. New York : Printice-Hall.

NOT, L. (1979). *Les pédagogies de la connaissance*. Toulouse : éd. Privat.

PERRAUDEAU, M. (1996). *Piaget aujourd'hui, réponse à une controverse*. Paris : Armand Colin.

PIAGET, J. (1977). *La construction du réel chez l'enfant*. Lausanne : Delachaux et Niestlé. (Première édition 1937).

POLYA, G. (1975). *How to solve it?* New York : Princeton University press.

RICHARD, J.-F. (1995). *Les activités mentales. Comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris : Armand Colin (collection U). (Première édition 1990).

VYGOTSKY, L. (1985). *Pensées et langage*. Paris : Éditions sociales. (Première édition 1934).

2.2. Articles, chapitres

BAR HAÏM, G. (1988). Problem-solvers and problem-identifiers : the making of research styles. *International journal of science education*, vol. 10, n° 2, avril-juin, 135-150.

BASTIEN, C. (1984). Réorganisation et construction de schèmes dans la résolution de problèmes. *Psychologie française*, tome XXIX, n° 3-4, novembre, 243-246. Paris : Armand Colin.

DREVILLON, J. (1988). Reconnaissance d'une situation-problème et fonctionnement cognitif. *Revue Française de Pédagogie*, 82, janvier-février-mars, 9-14.

GARETT, R.M. (1987). Issues in science education : problem-solving, creativity and originality. *International journal of science education*, vol. 9, n° 2, 125-137.

HOC, J.-M. (1984). La verbalisation provoquée pour l'étude du fonctionnement cognitif. *Psychologie française*, tome XXIX, n° 3-4, novembre, 231-234. Paris : Armand Colin.

LÉONARD, F. (1988). Les conditions d'acquisition d'une nouvelle connaissance. *Revue française de pédagogie*, 82, janvier-février-mars, 39-46.

NGUYEN-XUAN, A. (1984). Apprendre en résolvant des problèmes : le système humain et les systèmes artificiels. *Psychologie française*, tome XXIX, n° 3-4, novembre, 235-242. Paris : Armand Colin.

NGUYEN-XUAN, A. (1995). Les mécanismes cognitifs de l'apprentissage. *Revue Française de Pédagogie*, 112, juillet-août-septembre, 57-67.

NOVAK, J. (1977). Compréhension des processus d'apprentissage et efficacité des méthodes d'enseignement. In *Tendances nouvelles de l'enseignement de la biologie*, vol. 4 (pp. 77-89). Paris : Unesco.

POCHET, B. (1995). Le "problem-based learning", une révolution ou un progrès attendu ? *Revue Française de Pédagogie*, 111, avril-mai-juin, 95-107. Paris : INRP.

RICHARD, J.-F. (1984). La construction de la représentation du problème. *Psychologie française*, tome XXIX, n° 3-4, novembre, 226-230. Paris : Armand Colin.

RICHARD, J.-F. (1996). Les activités mentales. *Cahiers pédagogiques*, 344-345 (*Apprendre à raisonner*), mai-juin, 18-28.

RICHARD, J.-F., ZAMANI, M. (1996). L'application des modèles de résolution de problèmes à l'analyse des tests. *Psychologie française*, tome 41, n° 1, janvier, 77-88.

VYGOTSKY, L. (1985). Le problème de l'enseignement et du développement mental à l'âge scolaire. (Première édition : 1935). In Schneuwly, B., Bronckart, J.P. *Vygotsky aujourd'hui*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé (collection : *Textes de base en psychologie*).

3. Didactique des sciences

3.1. Ouvrages

ARSAC, G., GERMAIN, G., MANTE, M. (1988). *Problème ouvert et situation-problème*. Villeurbanne : IREM, Université Claude Bernard.

ASTOLFI, J.-P. (dir.) (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris : INRP (collection : *Rapports de recherches*).

ASTOLFI, J.-P. (1995). *L'école pour apprendre*. Paris : ESF. (Première édition 1992).

ASTOLFI, J.-P., DEMOUNEM, R. (1996). *Didactique des sciences de la vie et de la terre*. Paris : Nathan (collection : *Perspectives didactiques*).

ASTOLFI, J.-P., DEVELAY, M. (1993). *La didactique des sciences*. Paris : PUF (collection : *Que sais-je ?*). (Première édition 1989).

DE VECCHI, G. (1992). *Aider les élèves à apprendre*. Paris : Hachette éducation.

DE VECCHI, G., CARMONA-MAGNALDI, N. (1996). *Faire construire des savoirs*. Paris : Hachette éducation.

DUMAS-CARRÉ, A. (1987). *La résolution de problèmes en physique au lycée*. Thèse d'état, Paris 7.

- GIORDAN, A. (1978). *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Paris : Le Centurion.
- GIORDAN, A. (dir). (1983). *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*. Berne : Peter Lang.
- GIORDAN, A., DE VECCHI, G. (1990). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé. (Première édition 1987).
- GIORDAN, A., DE VECCHI, G. (1994). *L'enseignement scientifique. Comment faire pour que ça marche ?* Nice : Z'éditions.
- GOFFARD, M. (1994). *Le problème de physique et sa pédagogie*. Paris : Adapt.
- GROSBOIS, M., RICCO, G., SIROTA, R. (1992). *Du laboratoire à la classe, le parcours du savoir. Étude de la transposition didactique du concept de respiration*. Paris : Adapt.
- JOHSUA, S., DUPIN, J.-J. (1989). *Représentations et modélisations : le "débat scientifique dans la classe" et l'apprentissage de la physique*. Berne : Peter Lang.
- JOHSUA, S., DUPIN, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : PUF.
- JONNAERT, P. (1988). *Conflits de savoirs et didactiques*. Bruxelles : De Boeck.
- LEMEIGNAN, G., WEIL-BARAIS, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette éducation.
- MARTINAND, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière, des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*. Berne : Peter Lang.
- RUMELHARD, G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne : Peter Lang.

3.2. Articles, chapitres

- ALLAIN, J.-C. (1995). Séismes, éruptions volcaniques et intérieur de la Terre : conceptions d'élèves de huit à dix ans. *Aster, 20, (Représentations et obstacles en géologie)*, 43-60. Paris : INRP.
- ALLAIN, J.-C. (1995). Un dispositif didactique utilisant des images pour faire évoluer les conceptions des élèves de dix ans sur les séismes. *Aster, 21, (Enseignement de la géologie)*, 109-135. Paris : INRP.

ARCA, M., CARAVITA, S. (1993). Le constructivisme ne résout pas tous les problèmes. *Aster*, 16, (*Modèles pédagogiques 1*), 77-101. Paris : INRP.

ASTOLFI, J.-P. (1978). Les représentations des élèves en situation de classe. *Revue Française de Pédagogie*, 45, 126-129. Paris : INRP.

ASTOLFI, J.-P. (1980). Quelques problèmes posés par la structuration des concepts dans l'enseignement scientifique expérimental. In *Actes des II^{es} journées de Chamonix sur l'éducation scientifique, (Approche des processus de construction des concepts en sciences)* (pp. 199-216). Paris : DIRES-Université Paris 7.

ASTOLFI, J.-P. (1991). Quelques logiques de construction d'une séquence d'apprentissage. *Aster*, 13, (*Respirer, digérer, assimilent-ils ?*), 157-186. Paris : INRP.

ASTOLFI, J.-P. (1996). L'imagination contre la rigueur ? *Cahiers pédagogiques*, 349, (*Un peu plus d'imagination*), décembre, 46-48.

ASTOLFI, J.-P., PETERFALVI B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16, (*Modèles pédagogiques 1*), 103-141. Paris : INRP.

BARAK, J., GORODSKY, M., CHIPMAN, D. (1997). Understanding of energy in biology and vitalistic conceptions. *International journal of sciences education*, vol. 19, 1, january-february-march, 21-30.

BAUMARD, J.-M., BUSNEL, A., DUGAST, J.-M. (1993). Des conceptions au concept : repérer et franchir l'obstacle. *Cahiers pédagogiques*, 312, (*Les représentations*), mars, 38-40.

BIHOUES, M.-A., MALOT, S. (1990). Quelques représentations à propos des vaccinations et des transplantations. *Aster*, 10, (*L'immunologie, jeux de miroirs*), 27-46. Paris : INRP.

BROUSSEAU, G. (1989). Obstacles épistémologiques, conflits socio-cognitifs et ingénierie didactique. In Bednarz, N., Garnier, C. (éds.). *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 275-285). Ottawa : Cirade/Agence d'Arc.

CAILLOT, M. (1984). La résolution de problèmes de physique : représentations et stratégies. *Psychologie française*, tome XXIX, 3-4, novembre, 257-262. Paris : Armand Colin.

CAILLOT, M., DUMAS-CARRÉ, A. (1987). PROPHY : un enseignement d'une méthodologie de résolution de problèmes de physique. In *Résolution de problèmes en mathématiques et en physique, Rapport de recherche, N° 12* (pp. 199-244). Paris : INRP.

CAILLOT, M., MATHIEU, J. (1985). Résolution de problème en sciences expérimentales : l'approche cognitive. In *Annales de didactique des sciences, N° 1*,

Rouen : Publications de l'Université de Rouen. (Contient une bibliographie en langue anglaise).

CANAL, J.-L. (1992). On n'a rien sans rien ou l'énergie, ça se paye ! *Aster*, 14, (*Raisonnement en science*), 157-180. Paris : INRP.

CARRETTO, J., VIOVY, R. (1994). Relevé de quelques obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de réaction chimique. *Aster*, 18, (*La réaction chimique*), 11-26. Paris : INRP.

CHAPPAZ, G. (1993). Représentation et conception sont dans un bateau... *Cahiers pédagogiques*, 312, (*Les représentations*), mars, 29.

CLÉMENT, P. (1991). Sur la persistance d'une conception : la tuyauterie continue, digestion-excrétion. *Aster*, 13, (*Respirer, digérer, assimilent-ils ?*), 133-156. Paris : INRP.

DELATTRE, J. (1993). Situation-problème, faisons le point ! *Spirale, revue de recherche en éducation*, 10/11, (*Résolution de problème et enseignement-apprentissage*), 5-26. Lille : École Normale de Lille.

DÉSAUTELS, J. (1989). Développement conceptuel et obstacle épistémologique. In Bednarz, N., Garnier, C. (éds.). *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 258-267). Ottawa : Cirade/Agence d'Arc.

DEVELAY, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 8, (*Expérimenter, modéliser*), 2-15. Paris : INRP.

DEVELAY, M. (1996). La pédagogie coopérative : oui, si... ou le point de vue d'un didacticien. *Cahiers pédagogiques*, 347, (*La pédagogie coopérative*), octobre, 34-35.

DUMAS-CARRÉ, A., CAILLOT, M., MARTINEZ-TORREGROSSA, J., GIL, D. (1989). Deux approches pour modifier les activités de résolutions de problèmes en physique dans l'enseignement secondaire : une tentative de synthèse. *Aster*, N° 8, (*Expérimenter, modéliser*), 135-160. Paris : INRP.

DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD, M., GIL, D. (1992). Difficultés des élèves liées aux différentes activités cognitives de résolution de problèmes. *Aster*, 14, (*Raisonnement en sciences*), 53-75. Paris : INRP.

DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD, M. (1993a). Des activités de résolution de problèmes pour l'apprentissage. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle, Didactique IV*, avril-mai, 9-32. Caen : Cerse.

DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD, M. (1993b). Le problème de physique et sa pédagogie. *Aster*, 16, (*Modèles pédagogiques I*), 9-28. Paris : INRP.

ESCARABAJAL, M.-C. (1984). Compréhension et résolution de problèmes additifs. *Psychologie française*, tome 41, n° 1, 247-252.

FABRE, M. (1993). De la résolution de problème à la problématisation. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle, Didactique IV*, avril-mai, 71-101. Caen : Cerse.

FAVRE, D., RANCOULE, Y. (1993). Peut-on décontextualiser la démarche scientifique ? *Aster*, 16, (*Modèles pédagogiques 1*), 29-46. Paris : INRP.

FURIÓ MAS, C.J., ITURBE BARRENETXEA, J., REYES MARTÍN, J.V. (1994). La "résolution de problèmes comme recherche" : une contribution au paradigme constructiviste de l'apprentissage des sciences. *Aster*, 19, (*La didactique des sciences en Europe*), 87-102. Paris INRP.

GAUDILLIÈRE, J.-P. (1994). Lavoisier, Priestley, le phlogistique et l'oxygène. *Aster*, 18, (*La réaction chimique*), 181-215. Paris : INRP.

GÉRIN-GRATELOUP, A.-M., SOLONEL, M., TUTIAUX-GUILLON, N. (1994). Situations-problèmes et situations scolaires en histoire-géographie. *Revue Française de Pédagogie*, 106, Janvier-février-mars, 25-37. Paris : INRP.

GILIS, D., GUILLAUME, J.-C. (1995). La résolution de problèmes : un nouveau savoir scolaire ? *Spirale, revue de recherche en éducation*, 15, 91-119. Lille : École Normale de Lille.

GIORDAN, A. (1989a). Quelques obstacles à l'utilisation didactique du concept d'obstacle épistémologique. In Bednarz, N., Garnier, C. (éds.). *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 372-381). Ottawa : Cirade/Agence d'Arc.

GIORDAN, A. (1989b). Vers un modèle didactique d'apprentissage allostérique. In Bednarz, N., Garnier, C. (éds.). *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 240-257). Ottawa : Cirade/Agence d'Arc.

GIORDAN, A. (1996). Apprendre à raisonner... Oui, mais sur quoi ? *Cahiers pédagogiques*, 344-345, (*Apprendre à raisonner ?*), mai-juin, 31.

GOHAU, G. (1983). Faut-il raisonner logiquement ? *Cahiers pédagogiques*, 214, (*Enseigner la biologie*), mai, 29-31.

GOHAU, G. (1987). Difficultés d'une pédagogie de la découverte dans l'enseignement des sciences. *Aster*, 5, (*Didactique et histoire des sciences*), 49-69. Paris : INRP.

GOIX, H. (1995). Vous avez dit "cristal" ? je pense "verre". *Aster*, 20, (*Représentations et obstacles en géologie*), 105-138. Paris : INRP.

GRIBENSKI, A. (1979). La démarche expérimentale dans les sujets d'examens. In *Actes des 1^{ères} journées de Chamonix sur l'éducation scientifique* (pp. 147-155). Paris : DIRES-Université Paris 7.

GUEYE, B. (1989). L'épreuve écrite de biologie au baccalauréat fait-elle appel au raisonnement en sciences expérimentales ? *Aster*, 8, (*Expérimenter, modéliser*), 119-133. Paris : INRP.

HOST, V. (1982). Apport des théories de l'apprentissage à la recherche sur les procédures d'apprentissage en sciences expérimentales. *Bulletin de l'équipe Aster*, 19, (*Recherches pédagogiques, section sciences*), 71-87. Paris : INRP.

HOST, V. (1985). Théories de l'apprentissage et didactiques des sciences. In *Annales de didactique des sciences*, 1 (pp. 39-92). Rouen : Publications de l'Université de Rouen.

JOHSUA, S. (1989). Les conditions d'évolution de conceptions d'élèves. In Bednarz, N., Garnier, C. (éds.). *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 306-314). Ottawa : Cirade/Agence d'Arc.

JOHSUA, S., DUPIN J.-J. (1991). Démarches de modélisation et interactions sociales en classe : un exemple en physique. In Garnier, C, Bednarz, N., Ulanovskaya, I. *Après Vygotski et Piaget, perspectives sociale et constructiviste. Écoles russe et occidentales* (pp. 69-84). Bruxelles : De Boeck.

LAPERRIÈRE-TACUSSEL, M. (1995). Le volcanisme, du cours moyen à l'IUFM. *Aster*, 20, (*Représentations et obstacles en géologie*), 61-84. Paris : INRP.

LARCHER, C., CHOMAT, A., LINEATTE, C. (1994). D'une représentation à une autre pour modéliser les transformations de la matière au collège. *Aster*, 18, (*La réaction chimique*), 120-139. Paris : INRP.

LEGRAND, M. (1988). Genèse et étude sommaire d'une situation co-didactique : le débat scientifique en situation d'enseignement. In *Actes du premier colloque franco-allemand de didactique des mathématiques et de l'informatique*. Grenoble : La pensée sauvage.

LOUDEN, W., WALLACE, J. (1994). Knowing and teaching science : the constructivist paradox. *International journal of science education*, vol.16, n° 6, november-december, 649-660.

MARTINAND, J.-L. (1989). Des objectifs-capacités aux objectifs-obstacles ; deux études de cas. In Bednarz, N., Garnier, C. (éds.). *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 217-227). Ottawa : Cirade/Agence d'Arc.

MARTINAND, J.-L. (1993). Histoire et didactique de la physique et de la chimie : quelles relations ? *Didaskalia*, 2, 89-99. Paris : INRP.

MARTINS, I., OGBORN, J. (1997). Metaphorical reasoning about genetics. *International journal of sciences education*, vol.19, n° 1, january-february-march, 47-63.

MONCHAMP, A., SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1995). Du fixisme à la tectonique des plaques. Et pourtant elles bougent... *Aster*, 20, (*Représentations et obstacles en géologie*), 3-20. Paris : INRP.

MOTTET, G. (1996). Les situations-images. Une approche fonctionnelle de l'imagerie dans les apprentissages scientifiques à l'école élémentaire. *Aster*, 22, (*Images et activités scientifiques*), 15-56. Paris : INRP.

MOURIER, F. (1996). Apprentissage et coopération. *Cahiers pédagogiques*, 347, (*La pédagogie coopérative*), octobre, 26.

ORANGE, C. (1993). Repères épistémologiques d'une didactique du problème. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle, Didactique IV*, avril-mai, 33-49. Caen : Cerse.

ORANGE, C. (1995). Volcanisme et fonctionnement interne de la Terre. Repères didactiques pour un enseignement de l'école élémentaire au lycée. *Aster*, 20, (*Représentations et obstacles en géologie*), 85-104. Paris : INRP.

ORANGE, C., ORANGE, D. (1993a). Mise en œuvre d'une situation-problème en géologie. *Biologie-géologie, revue de l'association des professeurs de biologie-géologie*, 3, 547-555.

ORANGE, C., ORANGE, D. (1993b). Problèmes de rupture, problèmes normaux et apprentissage en biologie-géologie. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle, Didactique IV*, avril-mai, 51-69. Caen : Cerse.

ORLANDI, É. (1991). Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale. Analyse de quelques cas à propos de digestion en classe de troisième. *Aster*, 13, (*Respirer, digérer : assimilent-ils ?*), 111-132. Paris : INRP.

PACCAUD, M. (1991). Les conceptions comme levier d'apprentissage du concept de respiration. *Aster*, 13, (*Respirer, digérer, assimilent-ils ?*), 35-58. Paris : INRP.

PIERRARD, M.-A. (1993). Modéliser les activités scientifiques à l'école élémentaire ? *Aster*, 16, (*Modèles pédagogiques 1*), 47-75. Paris : INRP.

PINELLI, P. (1994). Une séquence d'apprentissage en électrocinétique sous forme de situations-problèmes. *Bulletin de l'Union des Physiciens, vol. 88, n° 768*, novembre, 1509-1525.

RAICHVARG, D. (1987). La didactique a-t-elle raison de s'intéresser à l'histoire des sciences ? *Aster*, 5, (*Didactique et histoire des sciences*), 3-34. Paris : INRP.

RIDAO, C. (1993). Le concept de représentation en didactique de la biologie, un concept central et opératoire dans une didactique du problème. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle, Didactique IV*, avril-mai, 103-130. Caen : Cerse.

RUMELHARD, G. (1996). Représentations et travail résistant. *Biologie-géologie, revue de l'association des professeurs de biologie-géologie*, 4, 753-765.

RUMELHARD, G. (1997). Problématiser le vivant. In *La problématique d'une discipline à l'autre* (pp. 157-177). Paris : Adapt.

ROBARDET, G. (1990). Enseigner les sciences physiques à partir de situations-problèmes. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 720, janvier, 17-28.

ROBARDET, G. (1995). Situations-problèmes et modélisation; l'enseignement en lycée d'un modèle newtonien de la mécanique. *Didaskalia*, 7, 129-143. Bruxelles-Paris : De Bœck.

SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1991). La digestion au collège : transformation physique ou chimique ? *Aster*, 13, (*Respirer, digérer, assimilent-ils ?*), 93-110. Paris : INRP.

SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1995). Enseigner les sciences de la Terre en tenant compte des représentations. *Aster*, 21, (*Enseignement de la géologie*), 3-8. Paris : INRP.

SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1995). Une situation-problème en géologie : un détour de l'anecdotique au scientifique. *Aster*, 21, (*Enseignement de la géologie*), 137-160. Paris : INRP.

TUTIAUX-GUILLON, N., POUETTRE, G. (1993). Les situations-problèmes en sciences sociales : un outil pour faire construire des concepts aux élèves ? *Spirale, revue de recherche en éducation*, 10/11, (*Résolution de problème et enseignement-apprentissage*), 165-192. Lille : École Normale de Lille.

VERDIER, J. (1989). Résoudre des problèmes. *Cahiers pédagogiques*, 278, (*L'enseignement scientifique*), novembre, 35-36.

VUALA, J. (1991). Le rôle d'un dessin animé dans l'évolution des conceptions d'élèves sur la respiration. *Aster*, 13, (*Respirer, digérer, assimilent-ils ?*), 7-34. Paris : INRP.

VICTOR HOST (1914-1998)

Le Comité de rédaction

En hommage à Victor Host qui a créé et dirigé de 1969 à 1979, à l'INRP, l'unité de recherche sur la didactique des sciences expérimentales, Aster publiée, à l'occasion de sa disparition, des extraits d'un de ses articles intitulé "Théories de l'apprentissage et didactique des sciences" et sa bibliographie complète.

À l'occasion de la disparition, le 6 mai 1998, de Victor Host, professeur agrégé de sciences naturelles, ancien élève de l'ENS de Saint-Cloud, né le 2 juin 1914, Aster a souhaité s'associer aux nombreux hommages qui lui ont été rendus. Victor Host a créé et animé à l'INRP de 1969 à 1979 l'unité de recherche sur la didactique des sciences expérimentales pour les élèves de 6 à 14 ans. Il a également participé à la création de l'option biologie du DEA de didactique des disciplines de l'Université Paris 7, Denis Diderot, et encouragé les premières thèses qui ont été soutenues. Pendant très longtemps après sa retraite il a continué à dynamiser les travaux entrepris.

Ses qualités humaines ont été évoquées par Jean-Pierre Astolfi (1) qui lui a succédé à l'INRP. Nous avons pensé que la meilleure façon de rappeler son apport intellectuel consistait à reproduire partiellement l'un de ses textes publié en 1985 (2) et devenu difficile à se procurer. Il est intitulé : "Théories de l'apprentissage et didactique des sciences".

En introduction Victor Host précise que :

"Le didacticien est constamment confronté au problème suivant : comment prendre en compte les théories de l'apprentissage dans l'action pédagogique. Il est dérouté par la diversité des théories et se demande parfois s'il existe une théorie mieux adaptée que d'autres aux apprentissages scientifiques, si on peut éviter d'orienter le choix en fonction de critères idéologiques. Nous proposons ici une approche différente fondée sur le principe d'interaction indiqué ci-dessus. L'appropriation du savoir scientifique est une activité complexe qui comporte des étapes et des aspects très différents par les variables qui entrent en jeu : le rapport avec les objets ou avec les sources d'information, les formes de communication, le degré d'autonomie de l'élève etc. Pour chaque type de séquence ou pour le processus global d'intégration il importe de rechercher quelle théorie convient le mieux pour analyser et réguler la situation."

comment
prendre en
compte les
théories de
l'apprentissage

-
- (1) Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B., Vérin, A. (1998). *Comment les enfants apprennent les sciences*. Paris : Retz.
(2) Dans *Annales de didactique des sciences*, 1, 39-92 (cf. bibliographie en fin d'article).

Il développe alors le “cadre de référence” de cette réflexion c'est-à-dire les finalités de l'enseignement scientifique, puis les thèses épistémologiques et psychologiques en présence. Il cite ainsi Chomsky, Ausubel, Novak, Piaget, Gagné, Galpérine, Bruner, Rumelhart, Klopfer, etc. Vient ensuite un examen des différentes théories de l'apprentissage les plus marquantes. Sont cités Skinner, De Corte, Ausubel, Novak, Not, Decroly, Freinet, le projet anglais “sciences 5 à 13”, etc. Il développe également la dimension sociale de l'apprentissage (les variations individuelles, la communication, le dialogue). Nous reproduirons ci-dessous la première partie du chapitre I – Cadre de référence – sur les finalités de l'enseignement scientifique, et le quatrième chapitre sur les relations entre la didactique des sciences et les théories de l'apprentissage.

1. 1. FINALITÉS DE L'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

elles sont liées à une conception de l'homme

Tout enseignement disciplinaire s'inscrit dans un projet éducatif plus ou moins conscient ; d'autre part les théories de l'apprentissage sont plus ou moins liées à une certaine conception de l'homme et de la société. D'où la nécessité de préciser les finalités sous une forme opérationnelle qui permet leur discussion publique et évite l'imposition de choix subjectifs.

Les finalités que l'on reconnaît habituellement à l'enseignement scientifique sont les suivantes :

comprendre le rôle de la science dans la société

- savoir reconnaître le rôle des savoirs et savoir-faire scientifiques dans la résolution des problèmes posés par l'environnement naturel et technique, l'exploitation des ressources naturelles, la recherche du bien-être corporel – santé, nutrition, expression corporelle –, l'orientation des relations inter humaines – sexualité, racisme – ; savoir appliquer ce savoir dans la vie personnelle et la vie sociale en discutant le cas échéant avec les spécialistes ;
- comprendre le rôle de la science dans la société, savoir distinguer dans les prises de décision l'orientation de choix des valeurs et de la prise en compte des données scientifiques ;
- acquérir grâce à la formation scientifique des savoirs, des techniques, des méthodes de travail qui facilitent l'acquisition d'une formation professionnelle capable de s'adapter et d'évoluer ;
- être capable de rechercher l'information et de l'intégrer après une analyse critique fondée sur l'étude du message et la confrontation avec l'expérience personnelle.

La culture scientifique ne se limite pas à la maîtrise d'une langue ; elle suppose aussi l'acquisition d'un pouvoir. De ce

fait, elle ne se caractérise pas seulement par l'appropriation passive de certains instruments, savoirs ou savoir-faire manifestés par des performances au cours d'exercices scolaires imposés mais elle implique aussi le développement de dispositions, d'attitudes qui permettent leur mise en œuvre spontanée dans des situations très éloignées de la situation d'apprentissage. Pour beaucoup de pédagogues les activités scientifiques conduites suivant certains critères auraient une action beaucoup plus globale sur le développement du jeune enfant ; elles participeraient à son "éveil". Dans cette perspective se pose le problème de la compatibilité d'objectifs scientifiques disciplinaires et de finalités générales d'éveil dans la manière de conduire les activités scientifiques des enfants de 5 à 9 ans.

la formation
scientifique
s'intègre
dans la culture

La formation scientifique ainsi définie concerne la totalité des élèves et fait partie de la culture de base proposée à tous ; elle contribue aussi à diminuer la tension entre les deux pôles opposés de l'action éducative : développement personnel et intégration sociale. Mais la prise en compte des finalités pose deux problèmes.

- Comment peut-on les traduire dans un plan d'études sans trahir la pensée scientifique en la réduisant à un code de règles pratiques. Les finalités ne définissent pas un contenu mais orientent les attitudes et les conduites, elles déterminent les champs d'application effectifs d'un savoir défini à partir d'une transposition didactique qui doit respecter les contraintes épistémologiques qui caractérisent la pensée scientifique.

- Comment réaliser cette éducation scientifique qui dépasse de beaucoup la simple transmission d'informations au cours de la scolarité obligatoire, compte tenu des possibilités intellectuelles des élèves. La nécessité de prendre en compte le développement cognitif renforce l'une des exigences de tout enseignement scientifique : donner des instruments qui permettent aux élèves de prendre en charge leur propre formation à la sortie de l'école. La réflexion épistémologique ne doit pas seulement définir un contenu statique mais préciser les conditions de la genèse et de la reconstruction du savoir.

(...)

4. LA DIDACTIQUE DES SCIENCES ET LES THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE

Ces dernières peuvent être prises en compte à deux niveaux.

- D'une part elles peuvent être appliquées directement à l'action pédagogique en contribuant à la discussion critique des hypothèses qui la fondent, à l'établissement d'un modèle d'innovation cohérent, à la construction des instruments permettant l'observation et l'évaluation des pratiques péda-

un empirisme lié
à la complexité
des variables

gogiques effectives. La pédagogie des sciences n'est guère susceptible d'être codifiée *a priori* par une ingénierie didactique ; elle est en grande partie empirique du fait de la complexité des variables et des lacunes des connaissances psychologiques et épistémologiques. Mais il est nécessaire de réguler l'innovation à partir d'hypothèses explicites pour éviter les dérives idéologiques et spontanéistes.

- D'autre part les théories de l'apprentissage fournissent des hypothèses de travail, des méthodes et des données pour des recherches en didactique plus systématiques qui prennent en compte la spécificité des apprentissages scientifiques et visent à isoler dans la diversité des situations pédagogiques certaines constellations invariables définies par un nombre limité de variables. La confrontation des données conduit à un savoir spécifique, géré par une société scientifique, savoir comparable aux sciences de l'ingénieur bien que le corpus de didactique soit plus fluide que celui des technologies industrielles. Ce savoir sert de référence pour l'orientation de l'innovation et l'élaboration de stratégies pédagogiques relatives à une situation concrète.

4.1. Théories de l'apprentissage et régulation de l'action pédagogique

• *Conception et régulation d'un "modèle pédagogique"*

assurer la
cohérence
des prises
de décision

L'activité d'apprentissage est orientée par les prises de décision successives du maître qui portent sur le choix des activités, la place de l'expérimentation, la forme du travail, les modalités de la communication, la succession des séquences, etc. La cohérence de ces prises de décision suppose que le maître se réfère à un "modèle pédagogique" c'est-à-dire un ensemble hiérarchisé de finalités et à un système de représentations sur la manière dont l'enfant apprend. Ce modèle est en général implicite et repose souvent sur des conceptions subjectives assez naïves. Son existence a été mise en relief par des recherches récentes (*Innovation and Science Curricula*) qui visaient à expliquer pourquoi l'innovation portant sur les curricula scientifiques était rejetée ou travestie lorsqu'elle était imposée de l'extérieur. Il est souhaitable que les enseignants explicitent le modèle qui oriente leur pratique pour en éprouver la cohérence, pour discuter ses fondements théoriques, pour le faire évoluer en fonction de finalités reconnues par eux, pour le modifier en fonction des données de l'évaluation et de l'observation de la classe. Le rôle des théories de l'apprentissage dans la régulation du modèle pédagogique sera illustré par deux exemples qui se rapportent à des systèmes de représentations fréquemment rencontrés chez les enseignants.

a) Modèle pédagogique donnant la priorité à la transmission du savoir et à l'intégration sociale

La progression définie à l'avance suivant une logique linéaire commande l'objectif de la séquence. Celui-ci détermine à son tour l'organisation de la leçon qui se déroule principalement sous la forme d'un enseignement frontal. Le dialogue, étroitement guidé par le maître, vise à éclairer la logique d'une pensée sous sa forme codifiée et à la transmettre. L'activité expérimentale – qu'elle soit pratiquée par le maître ou exécutée par les élèves – sert à illustrer un discours ou éventuellement à apprendre des techniques. Les exercices pratiques sont une application du cours ; à ce stade seulement l'élève peut faire preuve de créativité. Ce modèle postule aussi que seuls les apprentissages systématiques réalisés dans le cadre scolaire peuvent constituer le cadre d'un savoir opérationnel ; les apprentissages spontanés à partir de l'expérience personnelle ou des apports d'information ne servent qu'à enrichir les apprentissages scolaires.

la créativité de
l'élève est limitée
aux exercices

Lorsque ce modèle est précédé d'une transposition didactique correcte qui explicite les paradigmes et la structure de la discipline, il définit un contenu clair et une démarche logique qui facilitent l'établissement de repères communs à la classe et donnent l'impression parfois illusoire de savoir où on va. Il semble très efficace pour assurer l'accès à un savoir spécialisé qui répond à un besoin explicite de l'apprenant ; dans ce cas plusieurs conditions de l'apprentissage sont réalisées : connaître la signification et la fonction du savoir, assurer sa consolidation par le réinvestissement.

peu d'efficacité
à long terme

Par contre l'efficacité à long terme de ce modèle a souvent été contestée pour les apprentissages de base ; de nombreuses recherches ont mis en évidence les processus de régression et dogmatisation (Giordan, 1978 ; Rumelhard, 1977) déjà signalés. Contrairement à une opinion commune on a pu établir que beaucoup d'ignorances stupéfiantes ne sont pas le produit du laxisme pédagogique mais le produit d'un enseignement verbal et dogmatique qui prétend se rattacher à ce modèle. Kapferer (Kapferer, Dubois, 1982) a établi que plus du tiers des Français de tous les âges pensaient que le Soleil tournait autour de la Terre même s'ils avaient reçu une formation traditionnelle. En confrontant le modèle pédagogique aux théories de l'apprentissage on voit qu'il néglige certains aspects du processus d'appropriation du savoir scientifique et qu'il ne répond pas nécessairement aux problèmes suivants :

- La signification fonctionnelle de l'apprentissage a-t-elle été explicitée ?
- A-t-on pris en compte les représentations qui s'expriment dans des situations diversifiées ou bien la connaissance scientifique est-elle étroitement liée à l'exemple scolaire ? L'élève a-t-il l'occasion de remettre en cause les stéréotypes sociaux véhiculés par les médias ?
- L'élève maîtrise-t-il les instruments sur lesquels s'appuie l'apprentissage : structures opératoires, formalisme mathématique, pré-requis apportés par d'autres disciplines ?

- L'apprentissage débouche-t-il sur la construction d'un réseau conceptuel cohérent ou se réduit-il à une simple addition des connaissances?

- Développe-t-il les attitudes – curiosité, créativité, esprit critique, etc. – qui permettent le réinvestissement et le remodelage du savoir et qui déterminent une prise en charge personnelle et permanente qui caractérise son appropriation effective?

des activités
d'investigation
autonome

Pour résoudre ces problèmes il n'est pas nécessaire de renoncer au modèle mais il faut l'enrichir, en particulier il faut introduire des séquences d'activités d'investigation autonome qui permettent aux maîtres d'observer les élèves et de leur apporter une aide individuelle. On aboutit à des solutions concrètes différentes suivant la personnalité du maître, le développement cognitif des élèves et la hiérarchie des finalités éducatives. Mais de façon générale la régulation de ce modèle ne relève pas uniquement des théories des apprentissages par réception.

b) Modèle pédagogique de l'apprentissage par investigation-construction

Il s'agit d'un modèle qui a beaucoup évolué au cours des trente dernières années à partir d'une réalisation assez simpliste qui a déjà été évoquée – la méthode de découverte; il inspire en particulier la pédagogie de projet et l'activité de résolution de problème lorsque ces pratiques visent l'acquisition d'un savoir spécifique.

Le modèle pédagogique expérimenté par l'INRP (Astolfi, 1983, 1984a) et relatif à l'enseignement scientifique au cours de la scolarité obligatoire est caractérisé par l'articulation des activités suivantes :

activités de
résolution de
problème

- Les activités fonctionnelles qui se situent au niveau des intérêts, de la problématique et de la logique des enfants (construction, production, élevages, cultures, exploration de l'environnement, éducation corporelle...) visent à conduire progressivement à la formulation d'un problème scientifique; elles permettent aussi de voir comment les élèves réinvestissent les acquis antérieurs en situation d'autonomie, et de stimuler le développement des attitudes scientifiques. Dans ces conditions l'apprentissage est rendu significatif voire nécessaire avant d'être abordé.

un apprentissage
signifiant et
nécessaire

- Les activités de résolution de problème ont déjà été décrites ci-dessus. L'activité d'investigation peut seulement conduire à un savoir ponctuel découvert ou éventuellement présenté par le maître; mais ce repère est capital d'une part parce qu'il joue le rôle de paradigme autour duquel s'organise un travail de construction qui dépasse largement le cadre scolaire, d'autre part parce que son explicitation suppose le dépassement des représentations spontanées et des stéréotypes sociaux.

- Les activités de structuration visent à généraliser les résultats de l'investigation et à l'intégrer dans l'ensemble du

connu, éventuellement à la suite d'une réorganisation de celui-ci. Elles permettent la confrontation de l'expérience personnelle et du savoir socialisé. C'est à ce niveau qu'interviennent les apprentissages systématiques dont la signification a été préalablement explicitée aux yeux des élèves.

La mise en place de ce modèle suppose une rupture avec l'organisation pédagogique traditionnelle sur les points suivants :

- la progression n'est pas déterminée par l'ordre linéaire d'un programme mais par la possibilité de mettre en place des activités fonctionnelles valables susceptibles d'être exploitées de façon divergente ;
- les objectifs font l'objet d'un contrat annuel entre le maître et la classe : il importe que les élèves sachent vers quelles prises leur chasse peut déboucher et qu'ils puissent prendre en charge de façon personnelle certains aspects de la formation ;
- les tableaux de planning-bilan permettent d'établir la correspondance entre activités et objectifs atteints ; la régulation de l'activité pédagogique se fait soit par le choix des activités, soit par l'orientation de la problématique lorsque la situation de classe le permet.

L'observation des situations de classe fait apparaître un certain nombre de difficultés dans la mise en place de modèle. On peut citer :

est-ce un vrai
problème
scientifique

- au niveau de la formulation du problème : a-t-on débouché sur un problème scientifique ou reste-t-on sur le plan d'une activité pratique ? Tous les élèves sont-ils concernés ? A-t-on imposé le problème ?
- au niveau de l'activité d'investigation : la démarche heuristique et foisonnante est-elle dominée par une prise de recul qui permet à chaque élève d'explicitier ses représentations, de prendre conscience de la logique de la démarche ? Les élèves cherchent-ils à résoudre le problème posé ou simplement à deviner la bonne réponse parce que la signification de la "pédagogie invisible" du maître leur échappe ? Y a-t-il un dialogue interactif véritable ou bien le maître repère-t-il simplement les propositions qui lui conviennent pour progresser dans la démarche ?
- au niveau de la structuration : y a-t-il un véritable remodelage du savoir par confrontation entre les données de l'expérience parfois contradictoires et le savoir scientifique constitué ?

De façon plus générale le modèle pose le problème de l'articulation entre une démarche individuelle d'appropriation et une activité collective d'investigation, de communication et de symbolisation ; cette dernière ne traduit pas seulement les contraintes institutionnelles mais répond aussi à une nécessité psychologique : dans ce modèle pédagogique la progression de l'apprentissage à certains moments passe par la communication.

Dans l'état actuel des recherches en didactique, l'apprentissage par investigation-construction convient bien à certaines

le paradigme organisateur

étapes de l'appropriation du savoir scientifique mais il semble moins efficace à d'autres moments. Il permet de lier étroitement la construction des structures opératoires et la mise en place des procédures ou des concepts de base qui conditionnent l'accès à la pensée scientifique. Il explicite la signification globale de l'apprentissage ce qui permet à l'élève de se prendre en charge et d'intégrer des acquis ponctuels scolaires ou extrascolaires. Il permet de construire de manière solide le paradigme organisateur d'un nouveau champ conceptuel en particulier grâce à la confrontation avec les différents systèmes de représentation. Par contre ce modèle convient moins bien lorsqu'il s'agit d'étendre quantitativement un champ de connaissances dont la fonction est connue et le point d'ancrage déjà construit ou lorsqu'on doit développer de manière déductive un champ disciplinaire qui sera ensuite confronté globalement aux données de l'expérience.

c) Quel que soit le modèle pédagogique il est indispensable de se poser quelques questions préalables dont la problématique est orientée partiellement par les théories de l'apprentissage.

un entassement de connaissances factuelles

- L'objet de l'apprentissage est-il défini avec précision ? Une certaine conception de l'analyse des objectifs renforce la tendance à la programmation linéaire débouchant sur un entassement de connaissances factuelles. En développant la notion de structure et d'objectif-obstacle (Martinand, 1981) les théories de l'apprentissage induisent une analyse épistémologique plus rigoureuse qui facilite l'accès à un savoir opérationnel.

- Prend-on en compte les caractéristiques du sujet de l'apprentissage ? Dans ce domaine, on rencontre plusieurs problèmes d'actualité. D'une part on tend à avancer l'âge des apprentissages scientifiques (physique dès la 6^e, initiation scientifique dès le C.P.) sans adapter le contenu et les procédures au niveau de développement de l'enfant. D'autre part l'extension de la scolarité obligatoire ne s'est pas accompagnée d'une prise en compte des caractéristiques de la nouvelle population scolaire et de l'évolution des finalités, en particulier d'un lien plus étroit entre enseignement scientifique et formation technologique et pratique.

un effort d'appropriation de longue haleine

- Les procédures d'évaluation sont-elles en rapport avec le modèle pédagogique ou de façon plus générale avec les hypothèses relatives à la définition du produit de l'apprentissage, l'accès à la pensée scientifique ? Existe-t-il des procédures d'évaluation formative qui permettent de détecter l'origine des difficultés individuelles des élèves ? Le système de notation fondé sur des épreuves écrites, imposées, souvent purement verbales, permet-il d'induire un effort d'appropriation actif, de longue haleine ?

• **Régulation d'une séquence suivant sa logique et sa fonction**

Il a déjà été indiqué que l'appropriation du savoir scientifique passait par l'articulation de séquences diversifiées dont la cohérence était assurée par un modèle pédagogique ; elles portent sur des apprentissages élémentaires qui diffèrent par leur finalité et leur logique et dont la régulation s'appuie sur des théories différentes : il suffit par exemple de comparer un exposé sur la structure de l'A.D.N., une recherche portant sur le problème "que devient l'eau d'arrosage distribuée aux plantes en pot ?", un exercice de structuration portant sur le rapprochement des acquis relatifs à la respiration.

dépasser
une pratique
purement
empirique

L'exemple des travaux pratiques permet de montrer la difficulté de certains problèmes et la nécessité de dépasser une pratique purement empirique. Ils absorbent des crédits importants, occupent une partie importante de l'horaire et orientent l'effort d'innovation de beaucoup de professeurs. Or, leur statut est très différent d'une classe à l'autre : exercices de résolution de problèmes, apprentissages de techniques, contrôle de connaissances, initiation à la recherche personnelle, prise de conscience du rôle de la science dans la société... Pour définir le contenu et les horaires (très différents d'un pays à l'autre) il faut se référer à des hypothèses qui se rapportent en particulier aux problèmes suivants :

- Apprend-on les sciences à partir d'un texte ou à partir de l'expérimentation ? La démonstration du maître suffit-elle ou faut-il expérimenter soi-même ? L'expérimentation doit-elle être guidée ou doit-elle être située dans le cadre d'une investigation autonome ? Dans quelle mesure peut-on remplacer l'établissement expérimental des données par l'étude de produits de l'expérience : tableaux de nombres, graphiques, schémas, protocoles d'expérience, documents audiovisuels ?
- Quelle doit être l'importance relative du travail de laboratoire et de l'exploration du milieu, y compris classes vertes, travail dans les musées... ?
- Dans quelle mesure le travail doit-il être individualisé et désenclavé par rapport à la progression ? (projets P.A.E.).

Ces problèmes relèvent d'une recherche en didactique de longue haleine mais il est nécessaire de prendre des décisions provisoires à partir d'une explicitation des finalités et des hypothèses relatives à l'apprentissage.

• **Individualisation de l'enseignement**

éviter la
différenciation
par des
procédures
d'individualisation

Peut-on éviter la différenciation précoce des filières ou l'alternative entre le nivellement par le bas et sélection par l'échec, par des procédures d'individualisation ? Les procédures classiques sont fondées sur la différenciation de rythmes d'acquisition, la distinction d'un programme-noyau et de compléments, les regroupements variables d'élèves en groupes de niveau ; la recherche porte principalement sur la programmation et la mise en œuvre opérationnelle par la

technologie de l'éducation susceptible de prendre un développement considérable. Mais ces procédures se rattachent le plus souvent à une pédagogie de transmission du savoir ; elles réduisent l'appropriation de celui-ci à sa dimension scolaire et défavorisent les élèves dont les cheminements s'écartent des voies imposées. Les théories de l'apprentissage par investigation-construction suggèrent des procédures d'individualisation complémentaires : à partir d'une démarche commune il est possible de définir un acquis commun de techniques et de méthodes (savoir procédural) mais les formulations conceptuelles pourraient être différentes et rattachées à des structures différentes et hiérarchisées; la structure la plus élémentaire joue le rôle d'instrument de communication au niveau de la classe. On réalise ainsi l'image de la communication scientifique dans la société; les spécialistes ont un registre de langage propre à leur champ d'activité mais ils ne doivent pas s'abriter derrière un jargon lorsqu'ils participent à une discussion publique sur leur activité. Malheureusement les recherches sur la structuration sont trop peu avancées pour fournir aux enseignants des instruments opérationnels de travail.

4.2. Théories de l'apprentissage et recherches en didactique des sciences (Carraz, 1983)

L'application directe d'une théorie de l'apprentissage à des problèmes pédagogiques ne conduit habituellement qu'à des hypothèses et la recherche en didactique est nécessaire pour permettre la prise en compte simultanée du contenu et des caractéristiques du sujet qui apprend. À cause de la complexité des situations de classe ces recherches sont nécessairement diverses et complémentaires. On peut les regrouper autour de deux pôles suivant qu'elles sont principalement au service d'une innovation dont le cadre est déjà défini, ou si elles visent d'abord la constitution d'un savoir organisé à la disposition des pédagogues.

• La recherche au service de l'innovation

La recherche n'est pas nécessairement le moteur de l'innovation : celle-ci dépend souvent d'une volonté politique relative aux finalités éducatives, et de la créativité des enseignants; elle doit prendre en compte les contraintes institutionnelles c'est-à-dire ce qui peut être accepté par la société, ce que les enseignants sont disposés à faire, ce qui permet d'utiliser au mieux les moyens disponibles. La recherche suppose la participation d'enseignants travaillant en situation de classe; elle intervient au niveau de l'analyse du contenu et de la régulation des pratiques en particulier par l'étude des situations de blocage. Le recours aux théories de l'apprentissage permet de fonder les procédures pédagogiques sur des hypothèses précises et d'interpréter les causes individuelles d'échec. Par rétroaction elles débouchent souvent sur un réexamen critique des objectifs et du contenu.

la recherche didactique prend en compte le contenu et le sujet

les théories fondent les procédures pédagogiques

• **Les recherches visant à la constitution d'un savoir organisé**

constituer un savoir didactique spécifique

Les recherches centrées sur la constitution d'un corpus organisé définissant le savoir en didactique des sciences sont prises en charge par de petites équipes où les chercheurs ont une place prédominante. Elles tendent à confronter les données collectées en situation de classe à celles que l'on obtient avec des groupes plus réduits dans des situations contrôlées avec précision ou à expliquer les résultats observés à partir de questionnaires et de recherches de type clinique. Les produits de la recherche ne sont pas validés en premier lieu par des enseignants mais sont discutés par la société scientifique des chercheurs en didactique en vue de la constitution d'un savoir spécifique.

Au cours de la dernière décade les recherches relatives aux processus d'apprentissage en sciences se sont considérablement diversifiées. Mais elles inspirent encore très peu les pratiques pédagogiques. D'une part les formateurs et les enseignants ne sont pas préparés à les utiliser c'est-à-dire à identifier dans les pratiques pédagogiques concrètes les situations de référence étudiées par la recherche et qui peuvent servir à orienter des choix pédagogiques dont la pertinence doit être vérifiée. D'autre part les recherches actuelles portent souvent sur des situations trop éloignées de la pratique, sur des apprentissages trop peu significatifs pour permettre de comprendre la complexité des apprentissages cognitifs.

• **L'articulation des deux types de recherches**

osciller entre deux risques.

Elle est indispensable. Le premier type risque de s'engluer dans un empirisme non contrôlé s'il n'est pas rajeuni par d'autres recherches grâce à une réflexion critique et un apport d'instruments d'observation et d'analyse. Le deuxième type risque de déboucher sur des instruments non utilisés qui ne répondent pas à une problématique actuelle et seront cependant périmés avant d'être utilisables car la fluidité des situations didactiques se traduit par l'apparition de nouvelles constellations de variables.

4.3. En conclusion

Les théories de l'apprentissage sont probablement appelées à apporter une contribution croissante à la recherche en didactique d'une part parce qu'elles cernent beaucoup mieux qu'autrefois les problèmes spécifiques posés par l'accès à la pensée scientifique, d'autre part parce qu'on considère de plus en plus que le problème central de la didactique des sciences n'est pas de définir un contenu qu'on fera passer vaille que vaille mais d'aider les élèves dans un processus d'appropriation qui dépasse de beaucoup le cadre scolaire.

BIBLIOGRAPHIE

- ASTOLFI, J.-P. et al. (1984). *Expérimenter – sur les chemins de l'explication scientifique*. Toulouse : Privat.
- ASTOLFI, J.-P. (1984). L'analyse des représentations en sciences expérimentales. *Revue française de Pédagogie*, 68, 15-25.
- AUSUBEL, D.P. (1968). *Educational Psychology : A cognitive View*. New-York : Holt Rinehart Winston.
- BLOOM, B. (1969). *Taxonomie des objectifs pédagogiques*. Presse de l'Université du Québec.
- BERNSTEIN, B. (1975). *Langage et classes sociales*. Paris : Éd. de Minuit.
- BRUNER, J. (1960). *Toward a theory of Instruction*. Cambridge : Harvard University Press.
- CARRAZ, R. (1983). *Recherche en éducation et socialisation de l'enfant*. Paris : La Documentation Française.
- CHAMPAGNE, A.B., KLOPPER, L.E., GUNSTONE, R.F. Cognitive Research and the Design of Science Instruction. *Educational Psychologist*, 17, 1, 31-53.
- CHANGEUX, J.-P. (1983). *L'homme neuronal*. Paris : Fayard.
- CLAPARÈDE, E. (1964). *Éducation fonctionnelle*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- DE CORTE et al. (1979). *Les fondements de l'action didactique*. Bruxelles : De Boeck.
- D'HAINAUT, (1977). *Des fins aux objectifs de l'Éducation*. Paris : Nathan.
- DOISE, W. et MUGNY, G. (1981). *Le développement social de l'intelligence*. Paris : Interéditions.
- ENNEVER, L. and HARLEN, W. (1972). *With Objective in Mind*. London : MacDonald Educational.
- FORQUIN, J.-C. (1982). Approche sociologique de la réussite et de l'échec scolaire, Note de synthèse. *Revue Française de Pédagogie*, 59, 52-75, 60, 51-70.
- FREINET, C. (1966). *Essai de psychologie sensible appliquée à l'éducation*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- GAGNÉ, R. (1976). *Les principes fondamentaux de l'apprentissage*. Montréal : Holt Rinehart Winston.

- GALIFRET-GRANJON, N. (1981). *Naissance et évolution de la représentation chez l'enfant*. Paris : PUF.
- GALPERIN, P.-J., LEONTIEW, A. und and. (1979). *Probleme der Lerntheorie*. Berlin : Volk und Wissen.
- GEORGE, Ch. et RICHARD, J.-F. (1982). Contributions récentes de la psychologie de l'apprentissage à la pédagogie. *Revue Française de Pédagogie*, 58, 67-91.
- GIORDAN, A., ASTOLFI J.-P. et al. (1983). *L'Élève et/ou les connaissances scientifiques. Approche didactique de la construction des concepts*. Berne : P. Lang.
- GIORDAN, A. (1978). *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Paris : Le Centurion.
- KAPFERER, J., DUBOS, B. (1982). *Échec à la science*. Paris : Nouvelles Éditions Rationalistes.
- KUHN, T. (1972). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Nouvelles Éditions Rationalistes.
- LEGRAND, L. (1960). *Pour une pédagogie de l'étonnement*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- LEY, A. et al. (1946). *Initiation à la méthode Decroly*. Bruxelles : Ermitage.
- LINDSAY, P.H., NORMAN, D.A. (1980). *Traitement de l'information et comportement humain, une introduction à la psychologie*. Saint Laurent (Québec) : Études Vivantes.
- MARTINAND, J.-L. (1982). *Contribution à la caractérisation des objectifs de l'initiation aux sciences et techniques*. Thèse d'état, Université Paris XI.
- NOT, L. (1979). *Les pédagogies de la connaissance*. Toulouse : Privat.
- NOVAK, J. (1977). Compréhension des processus de l'apprentissage et efficacité des méthodes d'enseignement dans la classe. *Nouvelles tendances de l'enseignement de la biologie*, 4, Paris : UNESCO.
- NOVAK, J. (1977). *A Theory of Education*. Ithaca and London : Cornell University Press.
- PAPERT, S. (1981). *Jaillissement de l'esprit*. Paris : Flammarion.
- PERRET-CLERMONT, A.-N. (1979). *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*. Berne : P. Lang.
- PIAGET, J. (1947). *La psychologie de l'intelligence*. Paris : Colin.

PIAGET, J. et INHELDER, B. (1962). *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.

PIAGET, J. et INHELDER, B. (1966). *La psychologie de l'enfant*. Paris : PUF, Coll. *Que Sais-je ?*

POPPER, K. (1973). *Logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot.

RUMELHARD, G. (1980). *Représentations et concepts de la génétique dans l'enseignement*. Thèse, Université Denis Diderot, Paris 7.

RESNICK, L. (1983). Vers une théorie cognitive de la didactique. *Actes des 5^{es} Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique de Chamonix*. Paris : Université Paris 7.

SKINNER, B.F. (1968). *La révolution scientifique de l'enseignement*. Bruxelles : Ch. Dessart.

VIENNOT, L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris : Hermann.

VIGOTSKY, L. (1962). *Language and thought*. New-York : Wiley.

WYNNYKAMEN, A. (1982). L'apprentissage par l'observation. *Revue Française de Pédagogie*, 59, 24-29.

BIBLIOGRAPHIE DE VICTOR HOST

HOST, V. (1971). *Les activités d'éveil à dominante intellectuelle au cours préparatoire, 51*. Paris : INRDP, Coll. *Recherches pédagogiques*.

ASTOLFI, J.-P., COULIBALY, A., HOST, V. (1972). *Biologie (initiation expérimentale) en 6^e et 5^e dans les CES expérimentaux, 55*. Paris : INRDP, Coll. *Recherches pédagogiques*.

HOST, V. (1973). L'initiation à la méthode scientifique : l'étude de la nature. In Legrand, L. (dir.). *Pédagogie fonctionnelle pour l'école élémentaire, tome II*. Paris : Nathan.

HOST, V., DEMAN, C., DEUNFF, J. (dir.) (1973). *Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire, 1 : Objectifs, méthodes, moyens, 62*. Paris : INRDP, Coll. *Recherches pédagogiques*.

HOST, V., DEMAN, C., DEUNFF, J. (dir.) (1974). *Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire, 2 : Première approche des problèmes écologiques, 70*. Paris : INRDP, Coll. *Recherches pédagogiques*.

HOST, V., MARTINAND, J.-L. (1975). *Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire, 3 : Initiation physique et technologique, 74*. Paris : INRDP, Coll. *Recherches pédagogiques*.

HOST, V., DEMAN, C., DEUNFF, J. (dir.) (1976). *Activités d'éveil scientifiques, 4 : Initiation biologique, 86*. Paris : INRDP, Coll. *Recherches pédagogiques*.

HOST, V. (1976). Évolution du contenu biologique de l'enseignement primaire et du premier cycle secondaire. In *Tendances nouvelles de l'enseignement de la Biologie*. Paris : UNESCO.

HOST, V. (1977). En guise d'étape. In *La construction des concepts par les élèves. Documents didactiques, B 10*. Paris : Université Paris VII.

HOST, V. (1977). Propositions en vue de la discussion des points de convergence des différentes recherches en cours. *Bulletin de liaison de la section Sciences, 17*. Paris : INRP.

HOST, V., GIORDAN, A. (1978). *Recherche sur les processus et les conditions de travail de l'élève*. Rapport de recherche DGRST. Ronéoté. Paris : INRP.

HOST, V. (1978). Procédures d'apprentissage spontanées dans la formation scientifique. *Revue française de pédagogie, 45*. Paris : INRP.

HOST, V. (1978). Les démarches spontanées d'apprentissage et la formation scientifique. *Éducation et développement, 128*.

HOST, V. (1978). Place des procédures d'apprentissage spontanées dans la formation scientifique. *Actes du colloque sur les conseils méthodologiques en éducation, 14,15,16 mars*. Paris : INRP.

HOST, V. (1979). Bilan de la recherche pédagogique française en sciences. *European journal of science education, 2*.

HOST, V., MARTINAND, J.-L. (1979). *Effets de l'introduction des activités physico-technologiques sur les apprentissages instrumentaux au CP*. Ronéoté. Paris : ENS Fontenay/INRP.

HOST, V., MARTINAND, J.-L., SANNER, M., GENZLING, J.-C. (dir.) (1980). *Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire, 5 : Démarches pédagogiques, 108*. Paris : INRP, Coll. *Recherches pédagogiques*.

HOST, V., ASTOLFI, J.-P., DEVELAY, M., DEMAN, C., ALEMANNI, L. (dir.) (1980). *Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire, 6 : Éléments d'évaluation, 110*. Paris : INRP, Coll. *Recherches pédagogiques*.

HOST, V. (1980). La recherche pédagogique en sciences. *Revue française de pédagogie, 52*. Paris : INRP.

HOST, V. (1980). Les opérations intellectuelles en activités d'éveil scientifiques. *Repères*, 58. Paris : INRP.

HOST, V. (1982). Apport des théories de l'apprentissage à la recherche sur les procédures d'apprentissage en sciences expérimentales. *Bulletin de l'équipe Aster*, 19, *Recherches pédagogiques, section Sciences*. Paris : INRP.

HOST, V. (1983). Science in primary school in France. In *New trends in primary school science education*. Paris : UNESCO.

HOST, V. (1983). *Éveil scientifique et mode de communication*, 117. Paris : INRP, Coll. *Recherches pédagogiques*.

HOST, V., DUCANCEL, G., DEVELAY, M. (1984). Mode d'introduction des aspects symboliques à l'école : interaction entre la construction de la pensée scientifique et l'apprentissage des instruments symboliques qui jouent le rôle de signifiant. In *Signes et discours dans l'éducation et la vulgarisation scientifique. Actes des 6^{es} Journées de Chamonix sur l'éducation scientifique*. Paris : Université Paris VII, Didactiques des disciplines.

HOST, V. (1985). Théories de l'apprentissage et didactique des sciences. *Annales de didactique des sciences*, 1. Rouen : Presses de l'Université.

HOST, V. (1986). L'école et les savoirs quotidiens : quels repères nous fournissent les expériences des dernières décades ? In *Éducation scientifique et vie quotidienne. Actes des 8^{es} Journées de Chamonix sur l'éducation scientifique*. Paris : Université Paris VII, Didactiques des disciplines.

HOST, V. (1986). Repères bibliographiques, la pédagogie des sciences. *Perspectives documentaires en sciences de l'éducation*, 8. Paris : INRP.

HOST, V. (1989). Systèmes et modèles : quelques repères bibliographiques. *Aster*, 8, 187-209. Paris : INRP.