

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'AEDEB 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'Évolution ; 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 Guiu* (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.

former les élèves
à se recycler

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 :

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

- 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

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.