



HAL
open science

Quand la langue est au coeur de la biologie et de sa didactique

Pierre Clément

► **To cite this version:**

Pierre Clément. Quand la langue est au coeur de la biologie et de sa didactique. Les Après-midi de LAIRDIL, 2010, Didactique des langues, didactique des sciences, 17, pp.75-88. hal-04050905

HAL Id: hal-04050905

<https://ut3-toulouseinp.hal.science/hal-04050905v1>

Submitted on 29 Mar 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Quand la langue est au cœur de la biologie et de sa didactique

Pierre Clément

Professeur, Université Lyon I



I - Didactique des disciplines, didactique de la biologie

Biologiste durant le début de ma carrière universitaire, je me suis progressivement intéressé à la didactique de la biologie, pour finalement lui consacrer l'essentiel de mon temps.

Cette discipline, comme toute didactique, étudie les processus de transmission et d'appropriation de connaissances dans le domaine qu'elle concerne, ici la biologie. Comme le schématise la figure 1, elle peut être située à l'intersection de trois grands champs disciplinaires:

- celui des connaissances concernées, la biologie en l'occurrence, incluant leur histoire et épistémologie (l'origine et les limites de ces connaissances);
- celui de l'appropriation individuelle de ces connaissances, champ qui inclue nombre de disciplines qui étudient les apprentissages, dont les sciences du langage et celles de la cognition;

- celui de la dimension sociale de ces connaissances et de leur apprentissage, recouvrant là encore bien des dimensions, de la sociologie à la politique en passant par l'économie, le droit, l'éthique, etc.

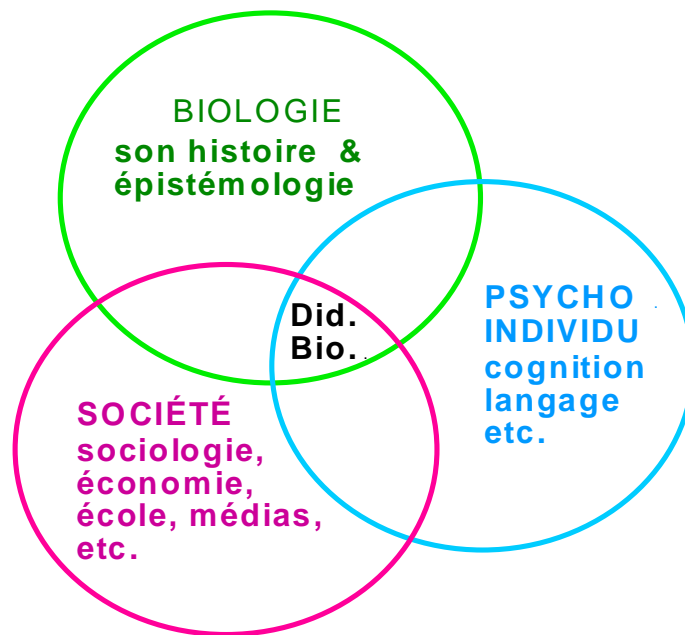


Figure 1 - La Didactique de la biologie (Did. Bio.) à l'intersection de trois grands champs disciplinaires (Clément 1999)

La figure 1 est bien sûr schématique, sous-estimant certaines facettes des questions abordées (par exemple la dimension affective des apprentissages, dont l'importance ne sera jamais assez soulignée: elle n'est qu'implicitement présente dans le terme "psycho"), mais aussi par les catégorisations effectuées (séparation de l'individuel et du social, alors que tout individu est nécessairement social). Elle permet cependant de poser plusieurs questions.

L'intersection entre ces trois champs disciplinaires est-elle porteuse de concepts et méthodes suffisamment spécifiques pour fonder une discipline: la "didactique de la biologie"?

Les interactions deux à deux de ces champs disciplinaires correspondent à des champs de recherche fructueux (la neuropsychologie, les sciences de la cognition), parfois controversées (la sociobiologie). Mais existe-t-il une discipline "didactique de la biologie" qui serait spécifique à la biologie, et dont les concepts et méthodes ne seraient pas valides pour la didactique d'autres disciplines (physique, histoire, géographie ou encore langues)? Ou au contraire, comme le proposent certains auteurs (Develay, par exemple), "le" didactique représente-t-il une facette des sciences de l'éducation qui concerne tout apprentissage scolaire?

La réponse à cette question n'est pas simple.

Certes l'expérience des recherches et de l'enseignement universitaires a montré que les concepts de didactique forgés par exemple en France dans le contexte de la didactique de la biologie ou de la physique (conceptions, obstacles épistémologiques, objectifs-obstacles, etc.) ou dans le contexte de la didactique des mathématiques (transposition didactique, situations didactiques, contrat didactique, etc.) se sont avérés utilisables et utiles pour la didactique d'autres disciplines. Plusieurs formations doctorales regroupent ainsi les didactiques des sciences expérimentales et des mathématiques, et l'ouvrage synthétique d'Astolfi *et al.* (1997) sur les "mots-clés de la didactique des sciences" présente l'ensemble de ces concepts (le terme "sciences" cependant ne recouvre pas les "sciences humaines et sociales").

Cependant, à y regarder de plus près, tous ces concepts ne fonctionnent pas aussi bien pour toutes les didactiques. Prenons l'exemple de la situation adidactique définie par Brousseau (1986). Elle est conçue par l'enseignant pour que l'élève apprenne, en jouant, des règles mathématiques, l'exemple de la course à 20 étant le plus souvent cité comme référence de ce type de situation. Cependant cette démarche inductive a des limites, déjà dans l'enseignement des mathématiques mais plus encore en biologie: il serait illusoire de croire que des élèves vont redécouvrir le concept de cellule en en observant au microscope alors que les biologistes ont mis plus de deux siècles, depuis l'invention du microscope et la première description de cellules, à stabiliser ce concept (Clément, 2007). Les situations didactiques proposées aux élèves peuvent les rendre curieux, actifs dans la construction de leurs connaissances, mais elles sont spécifiques aux apprentissages proposés. Au sein même de la biologie, les apprentissages sont très différents lorsqu'il s'agit d'approches expérimentales, en partie reproductibles en T.P. (travaux pratiques), ou d'interprétation d'écosystèmes: définir dans ce dernier cas une situation adidactique est illusoire (Clément et Guiu, 2001).

Tout concept de didactique peut ainsi être interrogé avant d'être utilisé: certes il porte la trace de la didactique qui l'a forgé, mais il peut aussi être utilisé, parfois après avoir été adapté, dans le cadre de la didactique d'autres disciplines.

Trois types de recherches, complémentaires entre elles, peuvent être distingués en didactique des sciences, correspondant chacun à des méthodologies spécifiques (Clément, 1998, 1999).

- L'analyse des conceptions des apprenants sur le thème enseigné: c'est l'approche la plus classique, ancrée dans une perspective constructiviste (Piaget) et bachelardienne (les obstacles épistémologiques: Bachelard 1938). Elle s'étend désormais à l'analyse des conceptions de tous les acteurs du système éducatif, en particulier les enseignants. J'y reviendrai.
- L'analyse de la transposition didactique: comment est sélectionné ce qui doit ou non être enseigné (transposition didactique externe), puis comment ce qui doit être enseigné est ensuite transposé pour devenir enseignable

(transposition didactique externe). Proposé en 1975 par le sociologue Verret, ce concept a ensuite été largement développé et popularisé par Chevallard en didactique des mathématiques (1985) pour être ensuite utilisé par la plupart des didactiques des sciences (Astolfi *et al.*, 1997). Alors que Chevallard (2007) propose une perspective anthropologique qui n'a pas recours à l'analyse des conceptions des acteurs, celle-ci apparaît être un complément utile de l'analyse des processus de transposition didactique (Clément, 1998, 2006). Le schéma même de la transposition a été complété pour ne pas être linéaire ni réduit à trois étages (figure 3, p. 80; Clément, 2006, 2009).

- L'analyse des situations didactiques: c'est sans doute le secteur des recherches qui s'est le plus développé durant ces dernières années, et pas uniquement sur la base de la théorie des situations didactiques proposée par Brousseau (1986) en didactique des mathématiques. Les séances d'enseignement sont désormais enregistrées, filmées, et analysées avec diverses grilles qui se nourrissent souvent des sciences du langage, comme le montre par exemple l'ouvrage coordonné par Buty et Plantin (2009) sur l'analyse de l'argumentation mise en œuvre au cours de ces enseignements.

II - Le modèle KVP: analyser les conceptions comme interactions possibles entre connaissances scientifiques (K), valeurs (V) et pratiques sociales (P): figures 2 & 3 (p. 79, 80)

Les conceptions relatives à un thème scientifique peuvent être analysées de plusieurs façons, avec des perspectives diverses. Généralement, en didactique des sciences, ce sera pour analyser des obstacles aux apprentissages ou pour évaluer les éventuels changements conceptuels après une séquence d'enseignement. Or ces changements s'avèrent souvent plus faciles pour l'acquisition de nouvelles connaissances scientifiques que pour l'évolution d'opinions (Simonneaux, 1995; Abou Tayeh, 2003; Kochkar, 2007), ou pour l'évolution de connaissances qui ont été utilisées pour justifier des idéologies comme le sexisme ou le racisme (Clément & Forissier, 2001). Les mêmes freins s'observent aussi dans l'histoire des sciences. C'est dans cette perspective qu'a été élaboré le modèle KVP.

Un exemple simple peut l'illustrer (Clément, 2009): en 1959, les éditions Hachette ont publié des manuels de "sciences appliquées" pour l'année de fin d'études dans des écoles rurales, un manuel pour les filles et un pour les garçons. Seule la moitié du contenu scientifique est identique dans les deux manuels. L'autre moitié concerne d'autres connaissances scientifiques et techniques, elles aussi utiles aux pratiques sociales mais, à l'époque, celles-ci étaient différentes pour les garçons et pour les filles. Cette forte interaction KP (connaissances enseignées et pratiques sociales) nous apparaît a posteriori comme très sexiste (valeurs V), illustrant des interactions KVP. Il serait impossible aujourd'hui de publier de tels manuels: les valeurs V ont changé, les

pratiques aussi même si les différenciations de genre persistent au niveau professionnel. Il est évident pour tous que c'est la même science qui doit être enseignée aux garçons et aux filles.

Dans l'exemple précédent, les valeurs implicites sont assez évidentes a posteriori. Elles sont plus difficiles à identifier dans des situations actuelles. Des études contrastives (plusieurs époques historiques dans un même pays: Quessada & Clément, 2007, par exemple; ou plusieurs pays aujourd'hui, comme dans le cadre du projet de recherche Biohead-Citizen: Clément & Carvalho, 2007) facilitent la prise de recul nécessaire à l'identification d'éventuelles interactions KVP.

Cette identification est ainsi un objectif de recherches de didactiques qui n'ont pas l'illusion que seul le savoir scientifique et son acquisition sont analysables. Au-delà de leur dénotation, les connotations de ces connaissances scientifiques méritent d'être analysées pour améliorer la qualité, notamment citoyenne, des enseignements scientifiques.

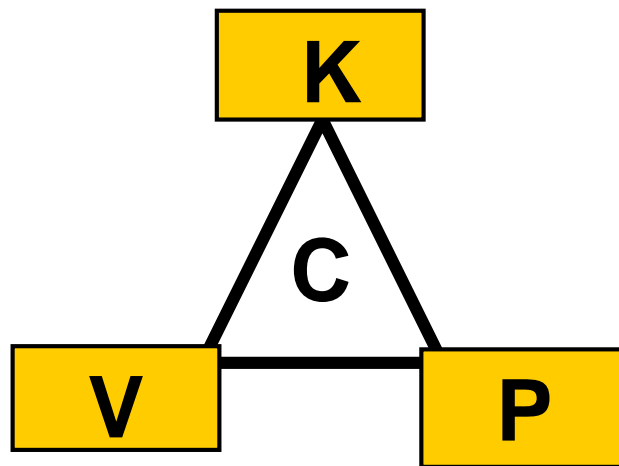


Figure 2: Les conceptions (C) peuvent être analysées en tant qu'interactions entre connaissances scientifiques (K), valeurs (V) et pratiques sociales (P) (Clément, 2004)

Dans ce modèle KVP, les connaissances (K) sont celles qui sont publiées par les scientifiques. Il peut s'agir de publications anciennes, relatives à des connaissances qui sont aujourd'hui dépassées mais qui restent gravées dans les mémoires, comme la notion de "programme génétique" sur laquelle nous reviendrons.

Les pratiques sociales, sur l'importance desquelles Martinand (1986, 2000) a déjà insisté, recouvrent aussi bien les pratiques professionnelles visées par l'enseignement (médical par exemple) que celles des acteurs dont les conceptions sont analysées, ainsi que leurs pratiques sociales plus ou moins citoyennes dans des contextes professionnels ou autres.

Le pôle le plus nouveau du modèle est celui des valeurs. Nous entendons par valeurs "ce qui fonde le jugement".

Ainsi, ce sont les valeurs de la science qui permettent aux scientifiques de juger de ce qui est scientifiquement vrai ou faux, ce qui n'empêche pas parfois l'immixtion de valeurs autres, relevant par exemple d'idéologies (la science nazie, ou même des idéologies plus masquées identifiables au sein des sciences de la vie, comme le réductionnisme: Canguilhem, 1977). Dans l'exemple du "programme génétique" – expression longtemps enseignée en biologie, mais qui apparaît désormais plus idéologique que scientifique (Atlan, 1999) – les valeurs qui peuvent expliquer la persistance de conceptions déterministes relèvent du fatalisme, de la soumission à ceux qui seraient, de naissance, les plus forts ou les plus intelligents, ou de la conviction de ces derniers qu'ils sont supérieurs aux autres. Les valeurs inverses sont tout simplement celles qui s'expriment dans la Déclaration Universelle des Droits de l'Homme et du Citoyen: l'égalité en droit de tous les êtres humains, quelles que soient leurs différences.

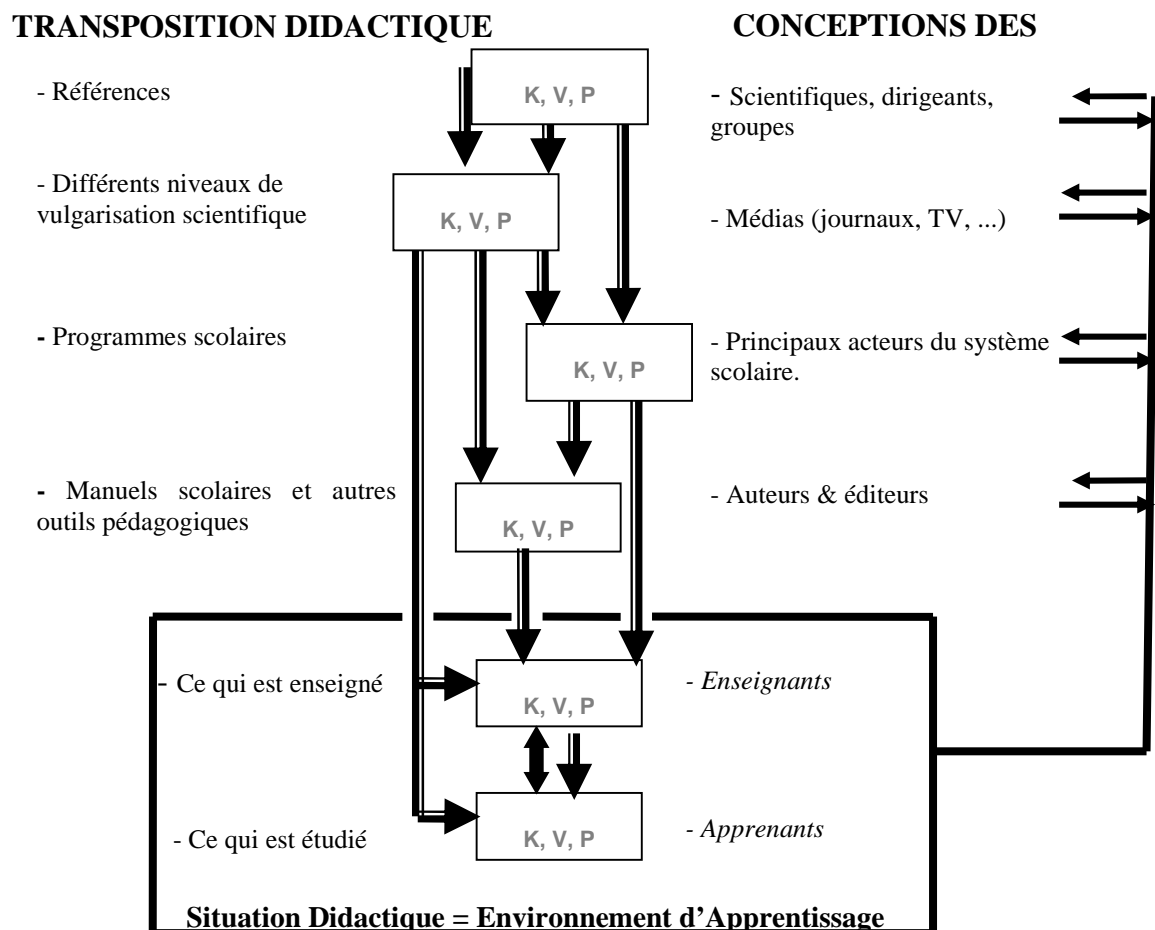


Figure 3: Schéma associant les étapes de la transposition didactique et les conceptions de leurs différents acteurs (modifié d'après Clément, 2006)

Le projet de recherche européen que j'ai coordonné de 2004 à 2008 ("Biology, Health and Environmental Education for better Citizenship") a analysé les conceptions de différents acteurs du système éducatif, en tant que possibles interactions KVP, dans 19 pays (chacun des pays ayant son équipe de

recherche). Il s'est intéressé d'une part à l'analyse des programmes et manuels scolaires (Clément 2008), d'autre part à celle des conceptions des enseignants: deux des niveaux de la transposition didactique indiqués par la figure 3. Quelques-uns des exemples qui suivent correspondent à des questions rencontrées au cours de cette recherche. Les autres viennent de mes autres pratiques de recherche ou d'enseignement en didactique de la biologie.

III - Quand la didactique de la biologie rencontre des problèmes de langue

1. Le lexique scientifique et ses traductions

Le lexique scientifique tente d'être monosémique. Mais chacun de ses termes est porteur d'une histoire des connaissances. Plus le concept exprimé se clarifie sur le plan scientifique, plus la terminologie est précise et acceptée sans équivoque d'abord par les chercheurs concernés, puis, au-delà, et en particulier dans sa traduction en différentes langues. Prenons un exemple: le terme "mitochondrie". Jusque dans les années 1960, les structures décrites en microscopie optique sous le terme générique de "chondriome" se déclinaient en plusieurs types ("chondriocotes", "chondriomites", etc.) qui sont tombés en désuétude quand la microscopie électronique a montré qu'ils avaient tous la même ultrastructure et que d'autres travaux ont montré qu'ils avaient tous la même fonction (schématiquement: assumer la respiration des cellules) et bien d'autres caractères en commun. Le terme de "mitochondrie" s'est alors imposé, à une lettre près dans la plupart des langues. Les autres termes ont encore été enseignés quelque temps, notamment dans les études médicales, puis ont disparu des traités et manuels scientifiques.

Cependant certains termes désignent des structures ou notions plus complexes, ce qui peut poser des problèmes lors de leur usage ainsi que lors de leur traduction dans différentes langues. Je prendrai deux exemples: le cerveau et l'environnement dans la langue arabe.

Le cerveau et la pensée

Lors de mes enseignements au DEA de didactique de la biologie à Tunis, j'ai eu des débats passionnants avec des étudiants (dont plusieurs étaient enseignants en lycée). L'un de ces débats a été enregistré: il portait sur la traduction en arabe du mot "cerveau".

Il s'insérait dans une réflexion sur les supports cérébraux de pensées ou comportements lorsque ceux-ci diffèrent entre deux individus, ou entre deux groupes d'individus (hommes et femmes, par exemple). Pour le biologiste, toute pensée différente correspond à des configurations différentes de réseaux neuronaux (Changeux & Ricœur, 1998) et donc à des différences entre cerveaux, à cette échelle; tout en considérant qu'il peut ne pas y avoir de différences apparentes à d'autres niveaux, anatomique par exemple. Or la traduction en arabe de la question initiale ("existe-t-il des différences entre les

cerveaux des femmes et ceux des hommes?”) s’est heurtée à un problème: fallait-il utiliser, pour le cerveau, le terme “*moukh*” (qui correspond plus à son anatomie) ou le terme “*akl*” (qui correspond plus au cerveau qui pense, voire même à la pensée qui en émerge)? Le choix du terme prenait d’emblée une position dans ce qui était à débattre, mais a été prétexte à une discussion passionnante au cours de laquelle il est apparu que pour certains étudiants, les réseaux neuronaux (supports de la pensée) relèvent du “*moukh*” alors que pour d’autres c’était du “*akl*”.

Lors de la traduction en arabe du questionnaire du projet de recherche Biohead-Citizen (*Biology, Health and Environmental Education for better Citizenship*), nous avons découvert que le terme “*environnement*” peut être traduit par les trois mots suivants: “*wassat*”, “*biia*” et “*mouhit*” (Alaya, 2010). Ces termes recouvrent en partie différents sens du “*milieu*”, bien analysés par Canguilhem (1965): le milieu d’un segment ou le centre d’une surface dans une approche géométrique (“*wassat*”); le milieu dans lequel on vit, qu’il soit familial ou social, naturel ou politique, ou encore son propre état personnel (“*biia*”); ou encore ce qui rassemble, qui entoure, que ce soit le périmètre du cercle ou l’océan ou encore le milieu de vie des humains (“*mouhit*”). La décision de traduction (“*biia*” ou “*mouhit*”) n’était donc pas simple. Nous avons opté pour le terme “*biia*” parce que c’est celui qui a été choisi par le gouvernement pour désigner le Ministère de l’Environnement.

2. Autres pièges de traduction

Lors de cette recherche européenne que j’ai coordonnée, nous avons mis au point un questionnaire pour analyser les conceptions des enseignants dans les 19 pays impliqués dans ce projet. Ce long travail collectif (19 équipes) a duré deux ans (Clément & Carvalho, 2007) au cours desquels nous avons testé un questionnaire pilote, après l’avoir traduit selon des processus lourds mais qui se sont avérés nécessaires: deux traductions parallèles indépendantes suivies d’une synthèse; rétro-traduction de celle-ci dans la langue initiale (anglais ou français) pour identifier les biais éventuels. Cette seconde phase n’a pas été effectuée dans tous les pays et un petit nombre de biais de traduction sont ensuite apparus à l’analyse des résultats du test pilote (ce qui nous a permis de les corriger, ou de supprimer les questions concernées: il fallait en effet réduire le volume du questionnaire pilote). Voici un exemple de ces biais.

La question T14 était formulée ainsi (en français): “Les gens se soucient trop de la pollution” et en anglais: “People worry too much about pollution”. Suivait une échelle de Likert de 4 cases entre “je suis d’accord” et “je ne suis pas d’accord” (“I agree” / “I don’t agree”). Or dans quelques langues, et en particulier en arabe, le terme “trop” devenait l’équivalent de “beaucoup”. Ce qui changeait radicalement le sens de la proposition: c’est en analysant des résultats du test pilote que nous nous en sommes rendu compte.

3. Les implicites idéologiques de certains termes ou expressions scientifiques

C'est un des axes de recherche de la didactique et épistémologie de la biologie, en particulier dans les travaux qui utilisent le modèle KVP.

Les termes “inné” et “acquis” en fournissent une illustration tout au cours du 20^{ème} siècle. Au début du siècle, c'était le débat “inné OU acquis”. C'était l'époque de l'émergence du béhaviorisme face à un innéisme dominant (les sociétés scientifiques de génétique étaient aussi focalisées sur l'eugénisme). Ensuite, pour tenir compte des arguments des deux idéologies qui s'opposaient, le compromis s'est appelé “inné ET acquis”, avec les expressions qui traînent encore dans les manuels scolaires comme dans les médias, de “la part de l'inné” et “la part de l'acquis”. Or ce modèle additif, encore largement dominant chez les enseignants de biologie (Forissier & Clément, 2003), est scientifiquement faux puisqu'il y a interaction nécessaire entre ces deux termes, l'inné comme l'acquis étant à 100% nécessaires (Jacquard & Kahn, 2001). Ce modèle interactif (interaction entre inné et acquis, entre le génome et son environnement) est plus difficile à concevoir que le modèle additif. L'adopter signifie être en rupture par rapport à d'autres expressions qui ont longtemps été au cœur des enseignements de génétique, et qui continuent à être présentes dans les manuels scolaires, comme le syntagme “programme génétique”. Atlan (1999) a montré que ce dernier était plus idéologique que scientifique, et que la “fin du tout-génétique” devait s'accompagner de son remplacement par “information génétique”. Mais le terme de “programme” (génétique) reste encore présent dans les manuels de biologie de nombreux pays (Castéra *et al.*, 2008).

Le syntagme “programme génétique” fonctionne donc comme un fait de langue (Ducrot, 1980), exprimant ici des implicites idéologiques, avec une interaction entre des connaissances scientifiques (K: dépassées mais qui continuent à être mobilisées pour justifier ces implicites) et des valeurs (V): fatalisme pour les plus défavorisés, élitisme pour les plus favorisés, inégalité biologique entre humains (avec la confusion idéologique entre différences et inégalités). Ces interactions KV sont porteuses d'enjeux quant aux pratiques sociales, y compris au niveau du système scolaire. Si l'intelligence des enfants était inéluctablement programmée génétiquement, la fonction de l'école serait de trier les bons gènes des mauvais, pour ne pousser au plus loin que les bons élèves porteurs des bons gènes. Alors que les connaissances scientifiques actuelles fondent le constructivisme, avec l'épigénèse cérébrale (Changeux, 1983) pour ce qui concerne tous nos apprentissages humains et, plus récemment, le nouveau paradigme de l'épigénétique (Morange, 2005) pour nommer les interactions entre le génome et son environnement.

4. Paradoxes sémantiques et conceptions

Nous avons utilisé la sémantique logique (Frege) pour analyser les difficultés rencontrées par les élèves lors de certains enseignements de biologie.

Par exemple, dans une classe du cycle 2 (élèves de 7 à 8 ans) une séquence d'enseignement a été introduite par la question: "comment les œufs de grenouille se transforment-ils en jeunes grenouilles?". Nous avons montré (Clément *et al.*, 2004) qu'une partie des problèmes des élèves venait de la double signification du terme "grenouille" dans son énoncé: d'une part les individus grenouilles ("jeunes grenouilles") et d'autre part l'espèce grenouille ("les œufs de grenouille"). Or, morphologiquement, ni un œuf de grenouille ni un têtard ne ressemblent à une grenouille adulte.

La fonction référentielle du langage est donc centrale dans la biologie et son enseignement. Les approches de la psychologie cognitive, en particulier sur la notion de prototype (Cordier, 1991) me semblent elles aussi pertinentes pour rendre compte, par exemple, des problèmes des élèves quant à l'œuf, celui de grenouille ressemblant peu au prototype qu'ils ont en tête (l'œuf de poule). Quant à la didactique de la biologie, elle nomme "conceptions" ce que les élèves ont en tête et elle analyse si ces conceptions préalables à un enseignement vont ou non faire obstacle à l'apprentissage scientifique souhaité (avec la notion d'obstacles épistémologiques définie par Bachelard, 1938).

Cette notion de conceptions a récemment été précisée (Clément, 2009, dont est extrait le tableau 1) pour séparer ce qui peut être mis en œuvre en fonction d'une situation précise (les conceptions situées, sorte de mémoire de travail) des conceptions plus stables sur le thème envisagé, conceptions qui, lorsqu'elles sont partagées par un groupe social, peuvent être nommées "représentations sociales" (Moscovici, 1984). Enfin, lorsque plusieurs conceptions sont corrélées entre elles, et avec des convictions politiques, religieuses ou autres, on peut parler de "systèmes de conceptions".

	Au niveau individuel	Au niveau collectif
Conceptions situées	Quand la personne répond à une question précise dans une situation précise	Quand plusieurs personnes répondent de la même façon dans cette situation précise
Conceptions	Quand la personne répond de façon cohérente à plusieurs questions sur un thème donné	Quand les conceptions individuelles sur un même thème sont identifiées chez plusieurs personnes (groupe social) (= représentations sociales)
Systèmes de conceptions	Ensemble de conceptions (représentations sociales) corrélées entre elles. Elles peuvent aussi être liées à des caractéristiques individuelles comme les opinions sur le plan social, religieux ou politique	

Tableau 1 - Définitions: conceptions situées, conceptions, représentations sociales et systèmes de conceptions (d'après Clément 2009)

5. L'argumentation

Alors que les ouvrages et thèses sur l'argumentation sont d'une grande richesse (Plantin, 1996, pour une synthèse), les didacticiens des sciences se

limitent le plus souvent, en Europe, à l'approche de Toulmin (1958) quand ils analysent "l'argumentation" lors des échanges entre élèves, ou entre élèves et enseignants, dans une séquence d'enseignement de sciences expérimentales. Ainsi ils catégorisent les discours retranscrits selon la grille suivante:

- les données (*data*), qui sont les "faits", les informations, qui vont fonder une déclaration;
- les déclarations (*claims*), c'est-à-dire des énonciations dont la validité est établie soit en tant qu'hypothèse, soit en tant que conclusion, soit en tant qu'une opposition à une autre déclaration;
- les justifications (*warrant*), c'est-à-dire ce qui justifie le lien entre des données et des déclarations;
- les supports (*backing*), c'est-à-dire les connaissances théoriques qui fondent les justifications.

Dans d'autres travaux (Clément, 2002; Clément *et al.*, 2004), nous avons utilisé les cinq catégories d'arguments proposées par Plantin (1990):

- le fait de langue;
- la logique formelle, la logique mathématique;
- la logique scientifique hypothético-déductive;
- la logique non formelle des Anglo-Saxons;
- la rhétorique d'un discours.

D'autres modes d'utilisation des approches langagières sont présentes dans l'ouvrage coordonné par Buty et Plantin (2009).

Cette problématique est essentielle pour l'éducation scientifique. En effet, l'enseignement des sciences doit conjuguer deux contraintes qui semblent souvent plus contradictoires que complémentaires.

- La première est de convaincre les élèves de la façon la plus efficace possible: non seulement par la solidité des démonstrations scientifiques (expérimentales ou théoriques) mais aussi en utilisant les ficelles que les médias maîtrisent souvent mieux que les enseignants: une panoplie d'arguments (d'autorité, par l'exemple, etc.), une rhétorique aussi agréable que convaincante, une séduction par l'image voire par le présentateur / la présentatrice.
- Mais, ce faisant, l'élève aura du mal à différencier la science de domaines autres, la religion par exemple, ou encore la littérature, l'art, etc. Si, par exemple, la science est enseignée comme un ensemble de vérités assénées, comment la différencier d'un catéchisme? Et comment prendre position quand les deux semblent diverger, par exemple sur la question de l'évolution?
- Il est donc prioritaire que l'enseignement des sciences se fonde sur les caractéristiques de la science: solidité des démonstrations, des expérimentations, mais aussi expression des doutes et questionnements. Mais pour pouvoir clarifier les limites des connaissances qu'ils enseignent, leur domaine de validité, leur nature et leur différence fondamentale par rapport à des "connaissances" relevant d'autres domaines (religion, par exemple), les

enseignants de biologie devraient avoir une meilleure formation en histoire et épistémologie de leur discipline, ainsi qu'en sa didactique.

Références bibliographiques

ABOU TAYEH, P. 2003. *La biologie entre opinions et connaissances: Conceptions d'enseignants et d'étudiants libanais sur le cerveau et son épigénèse, et sur d'autres déterminismes génétiques / épigénétiques*. Thèse de Doctorat, Université Lyon 1.

ALAYA, A., 2010. *L'éducation à l'environnement en Tunisie. Analyse des valeurs relatives à la nature e à l'environnement dans les conceptions d'enseignants et d'élèves et dans les manuels scolaires*. Thèse de doctorat non publiée, Université de Tunis (ISEFC) et Université Lyon I.

ASTOLFI, J.-P., E. DAROT, Y. GINSBURGER-VOGEL & J. TOUSSAINT. 1997. *Mots clés de la didactique des sciences*. Bruxelles: De Boeck.

ATLAN, H. 1999. *La fin du "tout génétique"*. Paris: INRA.

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

BROUSSEAU, G., 1986. Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques 7 : 2* (Grenoble: La pensée sauvage).

BUTY, C. & C. PLANTIN. 2009. *Argumenter en classe. Du débat à l'apprentissage*. Lyon: INRP

CANGUILHEM, G. 1965. *La connaissance de la vie*. Paris: Librairie philosophique J. Vrin.

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

CASTERA, J., P. CLEMENT, M. ABROUGUI, T. SARAPUU, J. TURCINAVICIENE, B. AGGORAM, F. CALADO, F. BOGNER, O. NISIFOROU, N. VALANIDES & G. CARVALHO. 2008. Genetic determinism in school textbooks. A comparative study conducted among 16 countries. *Science Education International 19 : 2*, 163-184.

CHANGEUX, J.-P. 1983. *L'homme neuronal*. Paris: Fayard.

CHANGEUX, J.-P. & P. RICOEUR,. 1998. *Ce qui nous fait penser. La nature et la règle*. Paris: Odile Jacob.

CHEVALLARD, Y. 1985. *La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: La pensée sauvage.

CHEVALLARD, Y. 2007. Passé et présent de la théorie anthropologique du didactique. Communication au II^{ème} Congrès International sur la Théorie

Anthropologique du Didactique “Diffuser les mathématiques (et les autres savoirs) comme outils de connaissance et d’action”, Uzès (France), 31 oct. - 3 nov. 2007. 31 pp.

CLEMENT, P. 1998. La biologie et sa didactique. Dix ans de recherches. *Aster* 27, 57-93.

CLEMENT, P. 1999. Les spécificités de la biologie et de son enseignement. *Biologie-Géologie, bulletin APBG (Association des Professeurs de Biologie – Géologie)* 3, 479-502.

CLÉMENT, P. 2002. Methods to analyse argumentation in (more or less) scientific texts. An example: analysis of a text promoting creationism. Krnel, D. (ed.). *Proceedings of the Sixth ESERA Summerschool*. Ljubljana: Faculty of Education, University of Ljubljana.

CLÉMENT, P. 2006. Didactic Transposition and the KVP Model: Conceptions as Interactions Between Scientific Knowledge, Values and Social Practices. *Proceedings Summer School ESERA, IEC, Univ. Minho (Portugal)*, 9-18.

CLÉMENT, P. 2007. Introducing the cell concept by both animal and plant cells: a historical and didactic approach. *Science & Education* 16, 423-440.

CLÉMENT, P. 2008. Relating to critical analysis of school science textbooks. *Science Education International* 19 : 2, 93-96.

CLEMENT, P. 2010. Conceptions, représentations sociales et modèle KVP. *Skholê*

CLÉMENT, P. & G. CARVALHO. 2007. Biology, Health and Environmental Education for better Citizenship: teachers’ conceptions and textbook analysis in 19 countries. *WCCES XIII (World Council of Comparative Education Societies)*, Sarajevo, CD-Rom, 15 pp.

CLEMENT, P. & T. FORISSIER. 2001. L’identité biologique n’est pas que génétique: un défi pour un enseignement citoyen. Communication au Symposium BioEd 2000. *The challenge of the Next Century*, Paris, 15-18 May 2000, site web CBE: www.iubs.org/cbe/pdf/clement.pdf

CLEMENT, P & F. GUIU. 2001. Pédagogie de Projet et Éducation à l’Environnement: d’où viennent les questions posées par des élèves de CM2 sur le terrain? *Aster* , 31, p. 95-120

CLEMENT, P., J.-L. HERAUD & J.-P. ERRERA. 2004. Paradoxe sémantique et argumentation. Analyse d’une séquence d’enseignement sur les grenouilles, au cycle 2 (élèves de 6 à 8 ans). *Aster*, 38, p.123-150.

DUCROT, O. 1980. *Les échelles argumentatives*. Paris: Éditions de Minuit.

- FORISSIER, T. & P. CLÉMENT. 2003. Teaching “biological identity” as genome / environment interactions in French secondary school? *Journal of Biological Education* 37, 85-90.
- FREGE, G. (textes publiés entre 1879 et 1925, traduits et rassemblés en 1971). *Écrits logiques et philosophiques*. Paris: Le Seuil (Essais).
- JACQUARD, A. & A. KAHN. 2001. *L’avenir n’est pas écrit*. Paris: Bayard.
- KOCHKAR, M. 2007. *Les déterminismes biologiques. Analyse des conceptions et des changements conceptuels consécutifs à un enseignement sur l’épigénèse cérébrale chez des enseignants et des apprenants tunisiens*. Thèse Doctorat Université Lyon 1 & ISEFC - Université de Tunis.
- MARTINAND, J. -L. 1986. *Connaître et transformer la matière*. Berne: Peter Lang.
- MARTINAND, J. -L. 2000. Pratique de référence et problématique de la référence curriculaire. A.Terrisse (dir.). *Didactique des disciplines, les références au savoir*. Bruxelles: De Boeck Université, 17-24.
- MORANGE, M. 2005. L’épigénétique: un domaine aux multiples facettes. *Medecine/Science* , 21: 339.
- MOSCOVICI, S. 1984. *La psychologie sociale*. Paris: Presses Universitaires de France.
- PLANTIN, C. 1990. *Essais sur l’argumentation*. Paris: Kimé.
- PLANTIN, C. 1996. *L’argumentation*. Paris: Seuil (Mémo).
- QUESSADA, M.-P. & P. CLEMENT. 2007. An epistemological approach to French curricula on human origin during the 19th & 20th centuries. *Science & Education* 16 : 9-10, 991-1006.
- SIMONNEAUX, L. 1995. *Les bio-technologies de la reproduction animale chez les bovins: approche didactique et muséologique*. Thèse de doctorat, Université Lyon I.
- TOULMIN, S. 1958. *The uses of arguments*. Cambridge: Cambridge University Press.
- VERRET, M. 1975. *Le temps des études*. Paris: Librairie Honoré Champion.