

POINT DE VUE d'un chercheur en didactique de la biologie

Jouer les notes sans connaître la mélodie : le caractère étroit de la recherche en didactique de la biologie

A.M. LUCAS

Principal's Office
King's College London
Strand
London WC2R 2LS

Résumé

Au cours des vingt dernières années, de nombreuses recherches ont été menées sur la façon dont les élèves et les étudiants comprennent les concepts scientifiques. Ce mouvement international a fourni un corpus très vaste de données intéressantes, mais malheureusement beaucoup d'études ont concerné des concepts isolés et étroits. Très peu s'intéressent à la façon dont les apprenants intègrent les idées dans une structure conceptuelle large. Ce manque est particulièrement important dans la recherche en didactique de la biologie ; celle-ci doit non seulement tenir compte des concepts de physique, chimie et mathématiques, mais aussi des concepts biologiques "englobants", dont la signification se développe au sein des sciences biologiques.

Abstract

During the past twenty years there has been much research into the ways that school and university students understand science concepts. This international movement has produced a very large body of interesting data, but

unfortunately most studies have been concerned with single narrow concepts. There are very few studies that look at the way that learners integrate ideas into a broad conceptual structure. This omission is especially important in biology education research, which has to take into account not only concepts from physics, chemistry and mathematics, but also 'overarching' biological concepts, which have themselves been extending their meaning within the biological sciences.

INTRODUCTION

La recherche sur les "conceptions alternatives" qui a dominé l'éducation scientifique ces vingt dernières années a surtout étudié les concepts des sciences physiques. Dans ce domaine, il y a eu beaucoup de travaux sur la mécanique, l'électricité, l'optique et la théorie particulière de la matière, avec un travail important sur la lumière et la cosmologie (voir Driver, Guesne & Tiberghien, 1985 ; Driver, 1991 ; Solomon, 1993a, pour des revues de questions). Il y a eu peu de travaux en biologie publiés en anglais ; ils concernent surtout la nutrition des plantes et la photosynthèse (voir les références citées dans Waheed et Lucas, 1992), la génétique (Clough & Wood-Robinson, 1985 ; Kindfield, 1991), et l'évolution (Deadman & Kelly, 1978). Dans la littérature française et espagnole, on trouve des études sur un plus grand nombre de sujets biologiques qu'en Angleterre, en particulier des études sur les conceptions enfantines à propos de la digestion humaine, l'excrétion et la reproduction, aussi bien que sur les thèmes qui dominent la littérature anglophone. Beaucoup d'exemples ont été publiés dans les Actes des Journées de Chamonix (voir les différents volumes édités par Giordan & Martinand). Giordan et De Vecchi (1987) ont synthétisé certains de ces travaux, avec de nombreuses illustrations montrant les représentations des enfants sur les structures biologiques. Gagliardi (1983) a également travaillé sur les concepts en génétique. Un grand nombre d'études ont été faites en Espagne, la plupart publiées dans "*Enseñanza de las Ciencias*", et quelques thèses qui commencent à paraître (Jimenez, 1989).

Mon but n'est pas ici de passer cette littérature en revue, mais plutôt de commenter celle qui concerne les travaux sur les "idées" des enfants. Je conclurai que les carences sont encore plus sérieuses en biologie qu'en physique, car les chercheurs ignorent les réelles différences de nature entre la biologie et la physique, qui continue à servir de paradigme pour la science.

1. PRENDRE DES EXEMPLES AU HASARD OU DÉVELOPPER UNE THÉORIE DE L'APPRENTISSAGE ?

Dans notre récente collection d'ouvrages (Black & Lucas, 1993), nos contributeurs abordent les problèmes de l'apprentissage des enfants selon des perspectives variées. Tous doutent que le label "constructivisme" fournisse un guide suffisant pour un développement théorique. Dans sa forme simpliste, les constructivistes ont recours au lieu commun selon lequel les apprenants ne sont pas des récepteurs passifs d'informations venant de l'extérieur, et qu'ils doivent en quelque sorte "construire" leur propre interprétation. Peu d'auteurs sont en désaccord avec cette proposition, mais celle-ci est stérile en tant que base théorique : elle permet peu de prévisions quant aux données à collecter, car on ne peut pas en déduire de prédictions précises. En conséquence, la littérature contient un grand nombre de domaines conceptuels étudiés de façon isolée. Mais ces listes de concepts ne nous permettent pas de faire de prédiction utile sur le type d'explication qu'un enfant donnera dans un autre domaine. Bien que les données s'accumulent à chaque sortie d'un journal d'éducation scientifique, notre compréhension théorique de la cognition et de l'apprentissage n'en est pas enrichie. Un coup d'oeil à la bibliographie de Pfundt et Duit (1991) confirme l'augmentation rapide du nombre d'exemples de concepts étudiés.

Plus important encore est le fait que nous ne pouvons faire l'hypothèse que ces données extensives fournissent des éléments suffisamment solides sur la façon dont les apprenants comprennent le sujet étudié. Comme Claxton (1993) le souligne :

"Affirmer que les intuitions scientifiques des gens sont le reflet direct de la nature et de la structure de leur savoir antérieur - leurs «cadres alternatifs» -, c'est se montrer coupable d'une grossière sursimplification de leur psychologie... Ce que nous interprétons de manière trop enthousiaste comme un «cadre alternatif» certain n'est pas plus que le reflet de la tentative éphémère et hésitante de prendre en charge la demande intellectuelle et sociale du moment présent (initiée par le chercheur)."

Sans modèle d'apprentissage explicite, l'accumulation continue de données ne peut se justifier que par la croyance en l'induction naïve baconienne. Peu d'entre nous pensent qu'une telle croyance est justifiée.

Selon la version du "constructivisme social", le contexte social joue un rôle prépondérant dans le processus d'apprentissage. Solomon (1993b) montre comment la discussion entre pairs influe sur un groupe d'élèves étudiant l'énergie. Il est certain que nous devons tenir compte du contexte culturel pour expliquer la façon dont les gens apprennent. Réciproquement, nous devons éviter une généralisation excessive, même si une étude semble avoir été reproduite de façon identique dans différents pays. A titre d'exemple,

Villalbi et Lucas (1991) ont reproduit le mieux possible à Barcelone l'étude originale faite en Nouvelle-Zélande sur la manière dont les enfants comprennent le mot "animal" (Bell & Barker, 1981). Nous avons trouvé que, comparativement aux pays anglophones, il y avait beaucoup moins d'enfants qui avaient des difficultés à classer les organismes non-mammifères comme des animaux. Nous avons interprété ceci en terme d'environnement linguistique général : l'expression courante anglaise "animals and birds" n'a pas d'équivalent dans les langues qui n'utilisent pas de façon vernaculaire le mot "animal" pour le mot "mammifère". Certains enfants catalans avaient des problèmes, mais ils concernaient surtout le classement des humains parmi les animaux.

Ces propositions prennent en compte le transfert social de la connaissance, plutôt que sa création individuelle par chaque apprenant réagissant seul à des phénomènes physiques. Cependant leur point faible est là aussi de ne pas permettre des prédictions qui puissent être testées de façon précise. Finalement, il n'y a pas une grande différence avec l'accumulation des études basées sur une approche "constructiviste" plus simpliste.

Il y a d'autres versions plus élaborées du constructivisme que celles qui sont rejetées plus haut. Par exemple, certains auteurs intéressés par la philosophie des sciences voient des parallèles très forts entre la manière dont les enfants sont supposés apprendre et une "épistémologie constructiviste" des sciences. Les problèmes liés à ces versions du constructivisme ont été étudiés par ailleurs, par exemple Matthews (1992) et la réfutation philosophique par Suchting (1992) de Von Glasersfeld (1989).

Ne vous méprenez pas : ces travaux ont eu beaucoup d'importance pour les enseignants. Comme je l'ai affirmé par ailleurs :

"Ce thème à la mode nous a valu un débordement d'articles très intéressants qui ont montré aux chercheurs en didactique des sciences que les hypothèses des projets de développement de curriculum anglophone étaient trop simplistes. Il est clair maintenant qu'investir de l'argent, du temps et des expertises dans le développement d'activités d'apprentissage n'est pas suffisant. Il faut aussi que ces activités d'apprentissage prennent en compte le sens que les élèves donnent aux concepts qui sont «évidents» pour l'enseignant et le responsable de curriculum. La recherche sur les « perceptions alternatives » a eu aussi beaucoup de valeur pour les enseignants qui, s'ils l'ont lue avec attention, ne peuvent plus considérer comme acquis que les enfants partagent tous les mêmes vues, après que l'enseignant ait exposé sa version d'un phénomène. Pour certains enseignants, cette recherche a légitimé leur expérience professionnelle, en confirmant que les idées qu'expriment certains de leurs élèves sont communes ; que ce n'est pas leur enseignement qui produit ces « aberrations »." (Lucas, 1990).

Mes objections sont que nous n'allons pas au-delà de la phase de "collecte" de cette tradition de recherche, dans la mesure où le constructivisme ne fournit pas une théorie satisfaisante pour interpréter ces données.

Je ne suis pas compétent pour proposer un meilleur modèle ou une meilleure théorie psychologique, qui serait certainement complexe, avec une prise en charge des problèmes suivants : la façon de prendre en compte le contexte, le champ d'application, le niveau d'abstraction, la métacognition, les dynamiques de renouvellement et de changement, les interactions concept-processus, les traitements parallèles, les effets de la motivation, les perceptions de l'adéquation et du rôle de l'autorité extérieure. Il y a un résumé de ces questions dans le chapitre de conclusion de Black et Lucas (1993), où nous soulignons que :

"Toute théorie devrait se positionner sur la signification des moyens utilisés pour recueillir les faits. L'enquête de recherche avec les enfants ne doit pas être interprétée comme si elle était une jauge ou un instantané captant un état fixé du système. Elle doit être considérée comme un élément de l'apprentissage, et comme une conversation entre le chercheur et l'élève. Les notions de dynamique de changement, de l'effet des perceptions, de l'intention et de l'autorité de l'enquêteur, entrent toutes en ligne de compte : toute théorie doit collecter et interpréter les faits dans le cadre de son propre modèle. La phase de «collecte» de la recherche dans ce domaine pourrait bien, rétrospectivement, être sérieusement limitée par les hypothèses cachées derrière sa méthodologie."

2. CONSÉQUENCES SUR LES BUTS DE L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

Même si une théorie psychologique conduit les recherches, il y aura encore des difficultés à en utiliser les résultats pour l'enseignement des sciences. Pire, le type d'investigation peut renforcer un modèle présentant la science comme un système de pensée atomiste plutôt qu'holistique ; analytique plutôt que synthétique ; restreint par les limites de chaque sous-discipline, plutôt que capable de fournir un ensemble de concepts et d'idées qui interagissent pour expliquer les phénomènes.

Il existe peu d'études qui s'intéressent à un ensemble complet de sujets. Même les ensembles de recherches les plus développés traditionnellement, en électricité et en dynamique, prennent de façon typique un seul concept, comme le courant ou la force, et l'étudient de façon isolée. Très peu de travaux considèrent un système complet de concepts en interaction, ce qui est caractéristique de la théorie scientifique. On trouve une exception notable

en sciences physiques : le travail de Bliss, Ogborn et leurs étudiants (Bliss & Ogborn, 1992, 1993 ; Bliss, Ogborn & al., 1989), qui ont développé un modèle cohérent d'une théorie "spontanée" non-newtonienne du mouvement. Ceci leur permet de tester l'utilité de leur modèle en tant qu'explication de la façon dont les jeunes enfants mettent en relation les concepts de démarrage et d'arrêt, de support, de force et de mouvement dans leur monde quotidien. Même des études relativement complexes sur l'électricité (Shipstone, 1985) se focalisent sur le courant en excluant la charge, la différence de potentiel, les relations entre courant électrique et ionisation, l'électrolyse, l'induction magnétique, etc. (voir aussi : Black Harlen, 1983). Ainsi les recherches, dans la mesure où elles influent sur les responsables de curricula scientifiques, suggèrent que les sciences à l'école doivent être enseignées comme une série de sujets sans relations, qui ne sont pas repris et renforcés quand un nouveau thème est abordé.

Bien entendu, nous pouvons conclure en disant qu'il est beaucoup plus facile et plus sûr d'analyser un sujet abordable. Lorsqu'on supervise les recherches d'étudiants, il vaut certainement mieux s'assurer qu'ils ne se lancent pas dans des sujets trop importants pour eux. De fait nous pouvons tirer un grand profit de certaines thèses : Paris Amestoy (1992) a fourni une étude très solide sur la façon dont les apprenants abordent les problèmes d'acides et de bases. Cette étude a pris en compte de façon approfondie les difficultés qu'ont eues les chimistes avec ces concepts.

Je n'en conclus pas que les études individuelles ont nécessairement besoin de tenir compte de toutes les ramifications d'un ensemble de concepts. Nous avons besoin de programmes de recherche bien développés, et non de séries d'études individuelles. Mais, à l'exception du programme de Bliss & Ogborn, même les groupes de recherche les plus actifs ne semblent pas avoir élaboré de plans pour des études séquentielles ou parallèles.

Pour comprendre la biologie, il est particulièrement important d'être capable d'utiliser un certain nombre de concepts issus des sciences physiques et de les appliquer au contexte biologique. Connaître les concepts ne suffit pas : il faut savoir les ordonner pour expliquer des phénomènes qui ne sont pas strictement réductibles à la physique ou la chimie. Il est facile de se moquer des physiciens qui argumentent à partir de principes faux, dans cet extrait du salutaire conte de Bohren :

"Une expérience commune d'un matin d'été consiste à marcher sur une pelouse apparemment mouillée par la rosée. Mais en regardant de plus près, on peut constater que toutes les gouttes sont suspendues à l'extrémité des brins d'herbe. Des étudiants en trouvèrent une explication dans le livre d'un météorologue dont l'esprit critique avait été émoussé par un excès de sciences physiques :

« La rosée se forme d'abord à l'extrémité ... des brins d'herbe, parce que la diffusion de la vapeur d'eau de l'air vers l'extrémité des tiges peut venir d'un grand nombre de directions. Ainsi, les extrémités peuvent rayonner de toutes parts vers le ciel, sans subir autant de rayonnements en retour d'autres objets. »

C'est une explication qui doit satisfaire les physiciens, mais pas les botanistes, car elle est absolument fautive. Les gouttes d'eau ne sont pas des gouttes de rosée, c'est de la guttation... La nuit, l'eau continue de monter dans les tiges des plantes en raison de la pression racinaire mais, les stomates étant fermés, l'eau sort au bout du vaisseau, à l'extrémité de la tige.» (Bohren, 1991)

Même si on peut plaindre le physicien qui traite les systèmes vivants comme des artefacts physiques, et qui explique les phénomènes associés sans se référer aux complexités du monde vivant, je ne cherche pas en citant cette histoire à encourager l'autosatisfaction des biologistes. Mon intention est d'illustrer les dangers qui existent à traiter les phénomènes en terme d'un ou deux concepts uniquement.

Un objectif important de l'enseignement des sciences est certainement d'encourager et de développer la capacité de l'apprenant à avoir une vision globale, et pas seulement le point de vue pris en cours de chimie, de physique, de biologie ou de géologie.

3. LE PROBLÈME DE LA BIOLOGIE

Aucun biologiste moderne ne peut nier que les systèmes biologiques sont composés des éléments et des particules qui intéressent les physiciens et les chimistes, ni que les lois de la physique et de la chimie s'appliquent aux systèmes vivants. Cependant, un système vivant constitue un environnement beaucoup plus complexe qu'un tube à essais, et nous devons prendre en compte ces différences quand nous explorons la façon dont les gens comprennent les phénomènes biologiques. Un simple exemple peut illustrer ce point.

Hallett (1989) souligne que certains phénomènes importants en biologie cellulaire sont imprédictibles, dans la mesure où le même stimulus ne provoque pas toujours la même réponse. Il interprète ce phénomène par le fait qu'il y a un très petit nombre de molécules impliquées. Imaginons le cas extrême où il y aurait une seule molécule impliquée par cellule : si la réponse à la stimulation de la membrane cellulaire dépend de la présence de la molécule dans la même moitié de cellule que le point de stimulation, alors dans 50% des cas il n'y aura pas de réponse. Il n'existe vraisemblablement jamais de système aussi simple que celui-là, mais il en existe beaucoup où les concen-

trations d'une substance sont assez faibles pour que les effets probabilistes de la distribution des molécules dans un compartiment donné produisent l'imprédictibilité observée.

Plus généralement, les systèmes biologiques ont une histoire, et cette histoire est une partie de l'explication de la façon dont ils fonctionnent. L'histoire est à la fois développement et évolution. Bien que ce ne soit pas toujours apparent, l'histoire sous-jacente du développement et de la sélection naturelle est toujours là. Ainsi des concepts tels que "structure et fonction", ou l'homéostasie, qui ont été mis en place à l'origine pour comprendre la physiologie individuelle, comme l'œil et la vision, le système circulatoire, la reproduction, ont été étendus à la structure écologique de la forêt, à la "circulation" globale d'énergie et de matière, aussi bien qu'aux processus d'extinction et de succession des espèces.

Mais en termes de didactique, ce sont des concepts difficiles à explorer. Il y a des concepts englobants, applicables à une grande quantité de phénomènes apparemment dissemblables. Il est très difficile d'isoler des cas qui permettent au chercheur d'explorer de façon fiable les explications des apprenants sur, disons, "la rareté des animaux sauvages" (Colinveaux, 1980) ; ou sur comment le fait de manger est contrôlé par les hormones, le système nerveux, les glycorécepteurs, les habitudes sociales, et les mécanismes complexes de stockage des hydrocarbonés dans le foie, etc. Prendre le chemin le plus facile en isolant chacun de ces facteurs pour l'étudier, c'est déformer la complexité des phénomènes expérimentés.

Je ne propose pas pour autant que toutes les études de didactique de la biologie examinent des concepts aussi larges. Ce serait un désastre, en raison de cette complexité même. Ce que je suggère, c'est la nécessité de programmes de recherche progressifs, où les sous-thèmes à étudier fassent partie d'un projet élaboré sur un thème plus vaste. En fait il n'est pas nécessaire que toutes les recherches soient menées par le même groupe : l'aspect essentiel est d'aller plus loin que d'accumuler un nombre croissant d'études isolées concernant les "idées" des enfants sur des concepts étroits.

Un de mes étudiants, Talaat Waheed (1990), s'est intéressé à la photosynthèse, qui est un sujet bien étudié dans la formation scientifique (par exemple, Test & Heward, 1980 ; Simpson & Arnold, 1980, 1982 ; Wandersee, 1983 ; Roth al, 1983 ; Smith & Anderson, 1984 ; Driver & al, 1984 ; Bell & Brook, 1984 ; Bell & al, 1985 ; Haslam & Treagust, 1987 ; Stav, Eisen & Yaa-kobi, 1987 ; Eisen & Stav, 1988 ; Barker & Carr, 1988a, b, 1989 ; Simpson & Marek, 1988). Il a construit son travail à partir de la littérature : après une analyse préliminaire très complète des ramifications de la photosynthèse au sein de la biologie, il a identifié les domaines où des études sur un seul concept avaient déjà été publiées. La photosynthèse est un sujet biologique complexe qui comporte de nombreux aspects conceptuels. Par commodité, il a pris en

compte les aspects liés à l'écologie, la biochimie, l'anatomo-physiologie et les changements énergétiques.

Il est important de considérer la photosynthèse comme un sujet complexe pour comprendre que le monde fonctionne comme un écosystème et que la photosynthèse est un pont entre le monde vivant et le monde non-vivant. Vu de cette façon, le thème de la photosynthèse permet aux élèves de comprendre les relations mutuelles des organismes à l'intérieur d'un écosystème, ce qui est l'un des principaux objectifs de l'enseignement de la biologie. On ne peut comprendre la photosynthèse comme un concept intégré que lorsqu'on réalise que le flux d'énergie dans un écosystème et le recyclage des gaz (dioxyde de carbone et oxygène) dans l'environnement sont des concepts qui établissent des liens entre les différents aspects de la photosynthèse.

Waheed, en étudiant des élèves âgés de 15 ans, a établi avec certitude que la majorité des étudiants avait compris l'aspect écologique et que plusieurs avaient une certaine compréhension des aspects physiologique et biochimique. Cependant, peu d'entre eux paraissaient avoir compris l'aspect "changements d'énergie", et encore moins (5 sur 56) avaient compris les quatre aspects. Il a été montré pour un seul de ces étudiants qu'il comprenait les six interrelations entre les quatre aspects de la photosynthèse, et les preuves étaient faibles pour trois de ces interactions. Waheed a également analysé quelques manuels parmi les plus couramment utilisés à ce niveau en Angleterre. Un seul d'entre eux établit explicitement les relations entre les différents aspects de la photosynthèse. Dans l'un des manuels les plus vendus, les interrelations sont implicites : bien que l'auteur mentionne les idées clés des interrelations entre les différents aspects dans les sujets directement ou indirectement associés, il ne donne pas les références croisées. (Après la publication des résultats (Waheed & Lucas, 1992), l'auteur en question, Dr Mike Roberts, m'écrivit qu'il avait inclus des références croisées dans le manuscrit du livre (Roberts, 1986), mais que les éditeurs avaient insisté pour qu'elles soient supprimées !). Les examens nationaux renforcent également l'idée que les enseignants doivent traiter ces aspects séparément : il a été rarement trouvé, dans les papiers des deux Comités d'examens que Waheed a analysés, une question qui demande aux candidats de mettre en relation ne serait-ce que deux de ces aspects.

J'ai décrit le cas de la photosynthèse en détail, car il fait ressortir l'importance d'essayer d'aider les apprenants à comprendre les implications des concepts qu'ils apprennent, et ceci pas seulement avec des applications à des exemples du monde réel, mais aussi comme un moyen de construire des structures de savoir cohérentes et se renforçant mutuellement. Comme l'affirment Black & Harlen (1993), la production d'un réseau de relations entre concepts peut être un moyen intéressant "*d'étendre le champ de catégorisation*".

De tels arguments ne sont pas valables uniquement pour l'étude de la biologie. Il peut en être de même pour les phénomènes géologiques. Un autre de mes étudiants-chercheurs a commencé à travailler sur la façon dont les enfants utilisent des concepts dans le contexte d'un thème plus vaste. Le "cycle de l'eau" est un sujet universellement étudié à l'école en cours de science et de géographie. Pour le comprendre complètement, il faut être capable d'utiliser aussi bien les concepts associés aux changements d'état et à la théorie particulière de la matière, qui sont beaucoup étudiés, que les théories sur la viscosité (on a besoin de la loi de Stoke pour expliquer pourquoi il ne pleut pas continuellement quand le ciel est couvert, puisque l'eau dans les nuages est à l'état solide et liquide). Parmi les étudiants portugais étudiés par Carvalho (1991), très peu étaient capables de relier les concepts concernés pour rendre compte de façon complète du cycle de l'eau, même à un niveau descriptif.

CONCLUSION

J'en reviens à mon titre. L'insatisfaction croissante qui commence à se manifester par rapport à la valeur à long terme des recherches de ces vingt dernières années pourrait motiver un nouveau style de compositeurs, plus intéressés par la forme globale du sujet que par les motifs isolés. La résurgence de l'intérêt pour les problèmes d'éducation à l'environnement peut nous encourager à jouer une mélodie globale, et ainsi à introduire dans nos propres traditions de recherche une idée que les curricula d'éducation à l'environnement sont bien obligés de reconnaître : que "chaque chose est reliée aux autres". Mais nous ne pratiquons pas toujours ce que nous prêchons, comme Lucas & Tobin (1987) l'ont montré par une étude critique sur la façon dont on enseigne l'expérimentation aux enfants. Peut-être les éditeurs de nouvelles revues pourraient-ils saisir cette opportunité pour agir comme des chefs d'orchestre dirigeant, par la manière dont ils examinent et acceptent les manuscrits, la production d'un symphonie synthétique ?

BIBLIOGRAPHIE

BARKER M. & CARR M. (1988a). Teaching and learning about photosynthesis. Part 1 : An assessment in terms of students' prior knowledge. *International Journal of Science Education*, 11(1), pp. 49-56.

BARKER M. & CARR M. (1988b). Teaching and learning about photosynthesis. Part 2 : A generative learning strategy. *International Journal of Science Education*, 11(2), pp. 141-152.

BARKER M. & CARR M. (1989). Photosynthesis - can our pupils see the wood from the trees. *Journal of Biological Education*, 23(1), pp. 41-44.

BELL B. & BARKER M. (1981). When is an animal not an animal ? *Journal of Biological Education*, n° 15, pp. 213-218.

BELL B. & BROOK A. (1984). *Aspects of Secondary Students' Understanding of Plant Nutrition*. Full Report. Children's Learning in Science Project, Centre for Studies in Science and Mathematics Education. Leeds, England, The University of Leeds.

BELL B. & al. (1985). *The construction of meaning and conceptual change in classroom settings: Case studies on Plant Nutrition*. Children's Learning in Science Project, Centre for Studies in Science and Mathematics Education. Leeds, England, The University of Leeds.

BLISS J. & OGBORN J. (1992). Steps towards a normalisation of a psychology of motion. In A. Tiberghien & H. Mandl (Eds), *Intelligent learning environments and knowledge acquisition in physics*. NATO ASI Series. Berlin, Springer Verlag.

BLISS J. & OGBORN J. (1993). A commonsense theory of motion : issues of theory and methodology examined through a pilot study. In P. J. Black & A. M. Lucas (Eds), *Children's informal ideas in science*. London, Routledge.

BLISS J., OGBORN J. & WHITELOCK D. (1989). Secondary school pupils' commonsense theories of motion. *International Journal of Science Education*, n°11, pp. 262-272.

BOHREN C.F. (1991). Adventures of a cross-disciplinarian. In R.L. Weber (Ed.), *Science with a smile*. Bristol, IOP Publishing.

BRUMBY M. N. (1979). *Student perceptions and learning styles associated with the concept of evolution and natural selection*. Unpublished PhD thesis, University of Surrey.

CARVALHO P. (1991). *Portuguese pupils and the water cycle : understanding interrelated scientific concepts*. Unpublished PhD thesis, University of London.

CLAXTON G.L. (1993). Minitheories : a preliminary model for learning science. In P. J. Black & A. M. Lucas (Eds). *Children's informal ideas in science*. London, Routledge.

CLOUGH E.E. & WOOD-ROBINSON C. (1985). Children's understanding of inheritance. *Journal of Biological Education*, n°19, pp. 304-310.

COLINVEAUX P.A. (1980). *Why big fierce animals are rare*. Harmondsworth, Penguin Books.

DEADMAN J.A. & KELLY P.J. (1978). What do secondary school boys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? *Journal of Biological Education*, n°12, pp. 7-15.

DRIVER R. (1991). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, n° 11, pp. 481-490.

DRIVER R. & al. (1984). Science in schools at age 15. *Report n° 2 to the DES, DENI and the Welsh Office on the 1981 survey of 15 year olds*. London, Assessment of Performance Unit.

DRIVER R., GUESNE E. & TIBERGHEN A. (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes, Open University Press.

EISEN Y. & STAVY R. (1988). Students' understanding of photosynthesis. *The American Biology Teacher*, 50(4), pp. 208-212.

GAGLIARDI R.P. (1983). Acquisition du concept d'information génétique par les étudiants de biologie. In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Quels types de recherche pour rénover l'éducation en sciences expérimentales ? Actes des Cinquièmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique de Chamonix*.

GLASERSFELD E. (von) (1989). Cognition, construction of knowledge and teaching. *Synthese*, n°80, pp. 121-140.

HALLETT M.B. (1989). The unpredictability of cellular behavior : trivial or of fundamental importance to cell biology ? *Perspectives in Biology and Medicine*, n°33, pp. 110-119.

HASLAM F. & TREAGUST D.F. (1987). Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument. *Journal of Biological Education*, 21 (3), pp. 203-211.

JIMENEZ ALEXANDRE M.P. (1989). *Los esquemas conceptuales sobre la selección natural : analisis y propuestas para un cambio conceptual*. Thèse de doctorat, Universidad Complutense de Madrid.

KINDFIELD A.C.H. (1991). Confusing chromosome number and structure : a common student error. *Journal of Biological Education*, 25(3), pp. 193-200.

LUCAS A.M. (1990). Varieties of science education research : their applications to the classroom. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(3), pp. 205-214.

LUCAS A.M. & TOBIN K. (1987). Problems with control of variables as a process skill. *Science Education*, n°71, pp. 685-690.

MATTHEWS M. (1992). *Constructivism and empiricism : an incomplete divorce*. Paper presented at the meeting of the Australasian Science Education Research Association, Hamilton, New Zealand.

PARIS AMESTOY Ma A. (1992). *Construcción de los conceptos ácido-base en los alumnos de Enseñanza Secundaria. Exploración de sus esquemas conceptuales y propuesta de un posible modelo de desarrollo conceptual*. Thèse de doctorat (soutenue en février 1993), Universitat Autònoma de Barcelona.

PFUNDT H. & DUIT R. (1991). *Bibliography : Students' alternative frameworks and science education*. 3rd edition. Kiel, IPN.

ROBERTS M.B.V. (1986). *Biology for Life*. Surrey, England, Thomas Nelson and Sons.

ROTH K.J. & al. (1983). *Students' conceptions of photosynthesis and food for plants*. Paper presented at the American Educational Research Association, Montreal, Canada.

SHIPSTONE D. (1985). Electricity in simple circuits. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds), *Children's Ideas in Science*. Milton Keynes, Open University Press.

SIMPSON M. & ARNOLD B. (1980). *An Investigation of the development of the concept photosynthesis to S.C.E. 'O' Grade*. Aberdeen College of Education, Aberdeen.

SIMPSON M. & ARNOLD B. (1982). The inappropriate use of subsumers in biology learning. *European Journal of Science Education*, 4 (2), pp. 173-183.

SIMPSON W. D. & MAREK E.A. (1988). Understanding and misconceptions of biology concepts held by students attending small high schools and students attending large high schools. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(5), pp. 361-374.

SMITH E.L. & ANDERSON C.W. (1984). Plants as producers : a case study of elementary science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(7), pp. 685-698.

SOLOMON J. (1993a). Four frames for a field. In P.J. Black and A.M. Lucas (Eds). *Children's informal ideas in science*. London, Routledge.

SOLOMON J. (1993b). The social construction of children's scientific knowledge. In P.J. Black and A.M. Lucas (Eds). *Children's informal ideas in science*. London, Routledge.

STAVY R., EISEN Y. & YAAKOBI D. (1987). How students Ages 13-15 understand photosynthesis. *International Journal of Science Education*, 9(1), pp. 105-115.

SUCHTING W.A. (1992). Constructivism deconstructed. *Science & Education*, n°1, pp. 223-254.

TEST D.W. & HEWARD W. L. (1980). Photosynthesis : teaching a complex science concept to juvenile delinquents. *Science Education*, 64(2), pp. 129-139.

VILLALBI R.M. & LUCAS A.M. (1991). When is an animal not an animal ? When it speaks English ! *Journal of Biological Education*, n°25, pp. 184-186.

WAHEED T. & LUCAS A.M. (1992). Understanding Interrelated Topics : Photosynthesis at Age 14+. *Journal of Biological Education*, n°26, pp. 193-199.

WAHEED T. (1990). *Children's understanding of integrated topics : photosynthesis concepts at age 14+*. MPhil thesis, University of London (King's College, London).

WANDERSEE J.H. (1983). *Students' misconceptions about photosynthesis : a cross-age study*. Paper presented at the International Seminar on Misconceptions in Science and Mathematics, Cornell University, Ithaca, New York.