

Point of view

Programmes de recherches et apprentissage des sciences

Research programmes and the student science learning literature

Galen ERICKSON

University of British Columbia, Faculty of Education
Centre for the Study of Teacher Education
Department of Curriculum Studies
Vancouver, B.C. Canada V6T 1Z4.

Traduction d'Andrée Tiberghien et Cécile Vander Borgh.
L'article original se trouve dans : R. Millar, J. Leach &
J. Osborne (Eds) (2000). *Improving science education : the*
***contribution of research.* Buckingham, Open University**
Press, pp. 271-292.

Résumé (extrait du chapitre par la traductrice C. Vander Borgh)

Le but de cet article est de présenter une vision personnelle de l'évolution des cadres conceptuels qui se sont produits dans le champ des recherches sur la compréhension des élèves en sciences durant ces vingt dernières années et de spéculer sur leur évolution future. Le but de clarifier ces évolutions est d'autant plus important que ce champ montre une « diversité considérable des approches qui ont conduit à une prolifération des termes, des méthodes de recherche et des approches théoriques pour décrire les «engagements cognitifs » des élèves (Driver & Erickson, 1983, p. 39). De fait, cette diversité a encore augmenté.

Mots clés : *programmes de recherche, apprentissage des sciences, Lakatos.*

Abstract

My aim in this chapter is to provide a personal perspective on the conceptual shifts that have occurred in this field over the past two decades and speculate on where it may move in the future. The aim of clarifying issues remains important, as the field still exhibits considerable « diversity of approaches [which] has created a proliferation of terms, techniques and supporting theoretical rationales for describing students' cognitive commitments » (Driver & Erickson, 1983, p. 39). Indeed, if anything, this diversity has increased.

Key words : *research programmes, students science learning, Lakatos.*

Resumen (extraído del capítulo por la traductora C. Vander Borcht)

El objeto de este artículo es presentar una visión personal de la evolución de marcos conceptuales que se producen en el campo de las investigaciones sobre la comprensión de los alumnos en ciencias durante estos últimos 20 años y de especular sobre la evolución futura. La finalidad de clarificar estas evoluciones es mucho más importante que lo que ese campo muestra, una « diversidad considerable de aproximaciones que han conducido a una proliferación de términos, métodos de investigación y de enfoques teóricos para describir los « compromisos cognitivos » de los alumnos (Driver y Erickson, p. 39). De hecho, esta diversidad ha aumentado.

Palabras claves : *programas de investigación, aprendizaje de las ciencias, Lakatos.*

INTRODUCTION

Il y a 15 ans, Ros Driver et moi-même avons écrit un article visant à clarifier un certain nombre d'orientations conceptuelles et empiriques dans un champ en expansion rapide, celui de la compréhension des élèves en sciences (Driver & Erickson, 1983). Mon but, dans ce chapitre, est de présenter une vision personnelle de l'évolution des cadres conceptuels qui se sont produits dans le champ des recherches sur la compréhension des élèves en sciences durant ces vingt dernières années et de spéculer sur leur évolution future. Le but de clarifier ces évolutions est d'autant plus important que ce champ montre une « diversité considérable des approches

qui ont conduit à une prolifération des termes, des méthodes de recherche et des approches théoriques pour décrire les « engagements cognitifs » des élèves (Driver & Erickson, 1983, p. 39). Cette diversité s'est encore accrue.

1. ÉVOLUTIONS DE PERSPECTIVES SUR LES CONCEPTIONS DES ÉTUDIANTS EN SCIENCE

Pour aider à identifier les évolutions conceptuelles dans le champ, j'ai décidé de recourir à une des idées que Ros et moi avons utilisées dans notre dernier article – celle de « *programme de recherche* », le plus souvent associé à l'analyse du progrès scientifique, proposée par Lakatos (1970). Nous avons construit cet article autour de notre reconstruction de « *l'argument utilisé par les chercheurs, implicitement ou explicitement pour justifier leur programme de recherche* » (Driver & Erickson, 1983, p. 39). Dans ce chapitre, je tenterai de développer certains aspects de cette notion de « programme de recherche ».

1.1. Qu'entend par « programme de recherche » ?

Pour Lakatos¹ (1970), un programme de recherche consiste en une série d'hypothèses interconnectées ou de théories construites sur une période donnée, qui permettent à ses protagonistes d'expliquer les phénomènes qui sont intéressants pour ce programme. Une autre fonction d'un programme de recherche est d'amener à des questions nouvelles et intéressantes. Cette dernière caractéristique, heuristique et liée à la résolution de problèmes, trouve son application dans les théories des sciences sociales en général et en particulier dans celles concernant l'apprentissage en sciences. Je mettrai particulièrement l'accent sur deux aspects heuristiques des programmes de recherche. Le premier est l'habileté à générer de nouvelles façons de comprendre des phénomènes et par là, d'imaginer de nouveaux projets de recherche. Le second est l'habileté à générer de nouvelles approches curriculaires et de nouveaux modes d'enseignement de concepts scientifiques.

Plus simplement, Lakatos assigne trois caractéristiques principales à un programme de recherche : l'engagement sur un « noyau dur », les hypothèses auxiliaires, comprenant la « ceinture protectrice » et enfin, les méthodes heuristiques.

Les noyaux durs d'un programme réfèrent aux hypothèses « irréfutables », qui ne sont ni remises en question ni soumises à une investigation.

La ceinture protectrice est la partie du programme qui sera soumise à des tests empiriques et réajustée grâce aux « hypothèses auxiliaires » et qui sera modifiée à la lumière de travaux empiriques convaincants.

Les méthodes heuristiques représentent les approches de recherche qui sont utilisées dans les investigations empiriques jugées pertinentes pour le programme.

Dans un champ comme l'éducation scientifique, le but d'un programme de recherche n'est pas seulement de produire de nouvelles compréhensions et de nouvelles méthodes pour *étudier les phénomènes de l'apprentissage de la science par les élèves* mais aussi de générer de nouvelles méthodes qui *engagent dans la pratique effective de l'enseignement des sciences*.

J'utiliserai ces trois caractéristiques pour tracer et analyser la trajectoire des programmes de recherche concernant l'apprentissage des sciences qui ont émergé au cours de ces vingt dernières années.

1.2. Les programmes de recherche et la littérature sur l'apprentissage des sciences

Quels sont les programmes de recherche dans la littérature sur l'apprentissage des sciences et comment ont-ils évolué sur ces vingt dernières années ? Je considère que, dans ce champ, au cours de ces vingt dernières années, il y a globalement deux programmes de recherche, un troisième émergeant ces dernières années. Le premier est le « programme piagétien », le second le « programme constructiviste » et le troisième le « programme phénoménologique ». Alors que les deux premiers programmes sont bien connus des chercheurs et, de plus en plus, des enseignants en sciences, l'étendue de ces catégories, particulièrement le programme constructiviste, peut surprendre. D'autres auteurs de synthèses dans ce champ, tels que Eylon & Linn (1988), Farhnam-Diggory (1994) et Duit & Treagust (1998), ont utilisé des distinctions plus fines dans leurs analyses respectives. Je considère que les différences dans les composantes du noyau dur de ces programmes permettent de mettre en évidence les différences de perspective et que les catégories utilisées par ces auteurs reflètent ces différences dans la ceinture protectrice de ces deux grands programmes.

Avant de discuter ces trois programmes de recherche, je préciserai ce que je considère comme étant un « engagement » au niveau du noyau dur de chacun d'entre eux. Étant donné l'accent mis sur l'apprentissage, il n'est pas étonnant qu'une perspective sur l'apprentissage ou sur la cognition

soit un premier élément théorique du noyau dur. Cette perspective fournit au chercheur un langage et un ensemble d'outils théoriques pour observer et interpréter des phénomènes de manière approfondie.

Dans notre précédent article, nous avons identifié des perspectives concurrentes à propos de l'apprentissage : la vision piagétienne de développement, la vision du traitement de l'information sur l'apprentissage et une perspective générale qui commençait juste à s'unifier, et que nous avons appelée « vision constructiviste de l'apprentissage ». Les perspectives sur l'apprentissage des deux programmes de recherche dominants étaient déjà présentes il y a vingt ans.

Malheureusement, bon nombre de chercheurs et de praticiens pensent qu'adopter une certaine vision de l'apprentissage peut être traduit immédiatement en pratiques scolaires. Cependant, à mesure que le champ devient mature, il apparaît qu'une théorie de l'apprentissage n'est pas en elle-même un fondement suffisant pour développer un curriculum. Un tel développement requiert une base empirique et normative beaucoup plus élaborée que celle qu'apporte une théorie de l'apprentissage, quelle qu'elle soit (Millar, 1989 ; Cobb, 1994 ; Driver et al., 1994).

Il est important de noter que cette remarque à propos de l'application de théories de l'apprentissage au niveau de l'enseignement s'applique aux autres programmes de recherche dont il est question dans ce chapitre.

2. LE PROGRAMME DE RECHERCHE PIAGÉTIEN

Pratiquement, tous les travaux de synthèse sur l'apprentissage en sciences reconnaissent l'impact profond du prodigieux travail de Piaget dans ce champ. Depuis les années vingt, le programme de recherche de Piaget a fourni de nombreux exemples de raisonnements d'élèves dans le domaine des sciences et des mathématiques. De plus, son modèle sous-jacent de développement cognitif et sa théorie des stades s'accordent particulièrement bien à l'adoption de l'approche « centrée sur l'élève » pour l'enseignement, qui se développait à ce moment-là. Ses propositions de développement de structures logico-mathématiques ont attiré particulièrement les éducateurs en sciences et en mathématiques.

Parmi les différentes perspectives théoriques sur la cognition, qui ont influencé la recherche sur l'éducation en sciences, celle de Piaget a connu, semble-t-il, le plus d'interprétations erronées. Le volume important de ses écrits, les difficultés liées à son style d'écriture et l'étendue des disciplines abordées (depuis la biologie de l'évolution et l'éthologie jusqu'à la philosophie et la psychologie du développement) y ont contribué.

Au cours des années 1960, 1970, un grand nombre de chercheurs sur l'éducation scientifique ont utilisé la théorie piagétienne des stades de développement intellectuel pour générer de nombreux travaux catégorisant les élèves dans différents stades (ou sous-stades) et les comparant avec d'autres mesures de performance ou de réussite de l'apprentissage dans des domaines disciplinaires particuliers.

2.1. Engagements sur le noyau dur

Sur quels « engagements sur le noyau dur » s'appuie l'ensemble des écrits de Piaget et, ensuite, le travail des éducateurs en sciences qui se sont fondés sur ses idées ? Comme l'ont noté bon nombre de chercheurs ayant examiné ses travaux, (Feldman, 1980 ; Lawson, 1994 ; Metz, 1998), Piaget s'est intéressé d'abord et avant tout aux questions de l'épistémologie génétique (Piaget, 1970). Il s'est centré sur les facteurs biologiques, et son intérêt majeur porte sur la nature et l'évolution des connaissances. Le principal « engagement » du programme piagétien est l'idée de *développement*. Le but est de comprendre comment l'enfant va développer des façons complexes et sophistiquées de voir le monde et d'agir sur lui. Le mot clé dans cette phrase est « développer », utilisé par contraste à « apprendre ».

Feldman (1980) et d'autres ont, à juste titre, mis l'accent sur un des objectifs de Piaget : définir des composantes universelles du développement cognitif – ces capacités mentales qui sont développées par tous les enfants interagissant avec leur environnement culturel et physique. Piaget ne s'intéressait pas à l'enseignement ou à l'apprentissage de disciplines particulières ni à l'accélération du processus de développement.

Deux autres engagements sur le noyau dur portent sur *un modèle de l'invariance des stades* de développement et un *modèle d'équilibration* du développement ou du changement conceptuel. Une dernière caractéristique du travail de Piaget, qui émerge des autres, concerne le développement *des structures mentales d'un individu*. Il existe encore bien d'autres facettes au travail de Piaget. Celles qui viennent d'être rappelées semblent cependant avoir été les plus utilisées par les éducateurs en science.

Quelles sont les implications pédagogiques associées à ce programme de recherche ? Puisque Piaget s'est surtout intéressé au développement d'universaux, le travail de générer un programme d'enseignement était à la charge des éducateurs en sciences. Leur première stratégie a été d'utiliser la théorie des stades du développement comme principe organisateur de curriculums.

Une autre stratégie a consisté à tenter d'accélérer les progrès des élèves entre les différents stades. De nombreux chercheurs ont classé les élèves en catégories selon les stades, de manière à pouvoir comparer l'efficacité de différentes stratégies d'enseignement et de différents programmes. Un second engagement important sur le noyau dur porte sur le mécanisme d'équilibration proposé par Piaget pour l'évolution cognitive, souvent opérationnalisé en termes de création de dissonance cognitive ou de conflit. Ce modèle de l'équilibration a été utilisé pour le développement de programmes d'enseignement et la construction de nouvelles approches d'enseignement – par exemple le « Science Curriculum Improvement Study » (SCIS, 1970).

2.2. Ceinture protectrice

La ceinture protectrice d'un programme de recherche est constituée par cet ensemble d'hypothèses auxiliaires qui tiennent compte des anomalies qui apparaissent et qui menacent l'engagement au noyau dur. Dans le programme piagétien, la théorie des stades a été largement critiquée (par exemple Driver, 1978 ; Siegel & Brainerd, 1978). L'engagement qui porte sur la séquence invariante des stades de développement, représentant, selon Piaget, des structures mentales universelles et indépendantes du contexte de leur développement, a été source de plus de difficultés empiriques que les autres « engagements ». Un exemple type d'une hypothèse auxiliaire créée pour rendre compte des défis empiriques posés par la séquence invariante dans la théorie piagétienne est son invention du « décalage horizontal ». Selon Piaget, quand un enfant construit une nouvelle structure opératoire, on peut s'attendre à trouver des décalages dans sa capacité à appliquer les structures mentales émergentes dans de nouvelles situations.

Un second engagement qui a été mis en question est le fait que Piaget ait mis l'accent sur le développement et non sur l'apprentissage. Les chercheurs piagétiens sur l'éducation scientifique qui s'intéressent particulièrement à l'apprentissage ont adapté ces aspects du programme piagétien de manière à ce qu'ils correspondent à leurs projets de recherche (Abraham, 1998 ; Adey & Shayer, 1994).

2.3. Méthodes heuristiques

Quelles nouvelles méthodes et pratiques de recherche le programme piagétien a-t-il générées ?

Une partie du programme de recherche sur l'éducation scientifique des années 60 et 70 qui était centrée sur les stades piagétiens a consisté à développer des outils « papier-crayon » qui permettaient aux chercheurs de classer les élèves dans une catégorie donnée. Bien que ces stades reflétaient ceux proposés par Piaget, le but et les méthodes utilisés par ces chercheurs différaient fondamentalement de ceux de Piaget. La « méthode d'entretien clinique », qui tente d'explorer en profondeur le raisonnement des élèves, utilise des contre-exemples et d'autres techniques pour vérifier la stabilité des réponses et le degré d'atteinte des stades n'est pas possible avec des questionnaires.

Un autre genre de recherche inspiré de Piaget a émergé dans le travail de Adey & Shayer en Angleterre. Au cours de ces vingt dernières années, ceux-ci ont élaboré du matériel d'enseignement destiné à accélérer le développement de la pensée logique chez les adolescents (projet « Cognitive Acceleration through Science Education » CASE), (Adey & Shayer, 1994). Ils utilisent le schéma piagézien de la pensée formelle, mais contrairement à lui, décrètent que l'enseignant, le matériel et le groupe de pairs jouent un rôle de médiateur. Dans un autre genre, s'appuyant sur les études de Piaget et plus particulièrement sur son modèle d'équilibration, Lawson a inclut la neurophysiologie et la modélisation du système nerveux dans son essai d'explication de l'acquisition de connaissances. Bien qu'étant d'accord avec les critiques concernant la rigidité du modèle des stades, Lawson déclare aller au-delà du travail de Piaget sur la théorie de l'équilibration « *en considérant les mécanismes neurologiques impliqués dans l'apprentissage et la connaissance* » (Lawson, 1994, p. 131).

Dans les années 60, une série de développements de curriculums basés sur la théorie de Piaget, particulièrement pour l'enseignement des sciences à l'école élémentaire, a vu le jour. Aux États-Unis, deux programmes très importants ont été développés à partir des principes piagétiens – Elementary Science Study (ESS) et Science Curriculum Improvement Study (SCIS). En Angleterre, le Nuffield Junior Science a été créé avec les mêmes orientations. Le programme le plus explicitement centré sur les stades de Piaget a été construit un peu plus tard, en Angleterre également. Il s'agit du programme « Science 5/13 » avec peut-être l'ensemble d'objectifs le plus explicitement associé aux stades piagétiens qui n'a jamais été produit.

Bien que la plupart de ces programmes traduit cette approche piagétienne dans les matériaux d'enseignement et les ouvrages du maître, seul le SCIS a développé un modèle d'instruction formel, connu sous le nom de « cycle d'apprentissage ». Trois phases d'enseignement, au niveau le plus élémentaire, constituent cette approche : exploration, invention et

application. Ce modèle de base continue à être utilisé dans divers contextes curriculaires (Abraham, 1998).

Quelle a été l'influence générale du travail de Piaget sur l'enseignement des sciences au cours de ces trente dernières années ? White (sous presse) présente une série de données concernant cette question. Il a étudié, dans les résumés de la banque de données ERIC (Educational Resource Information Center), la fréquence d'apparition de termes descriptifs pour 1000 entrées et cela, sur une période de 5 ans de 1966 à 1995. Le tableau 1 donne le nombre de résumés dans lesquels les termes « Piaget » ou « piagétien » sont cités.

1966-1970	1971-1975	1976-1980	1981-1985	1986-1990	1991-1995
45	77	140	84	92	13

Tableau 1 : **Nombre de résumés dans ERIC utilisant le mot « Piaget »**

Il est intéressant de noter la croissance régulière de 1966 à 1980, la diminution pendant les dix années suivantes et la disparition quasi complète dans les années 90.

3. LE PROGRAMME DE RECHERCHE CONSTRUCTIVISTE

En étudiant les origines du programme constructiviste, nous avons montré, dans notre article de 1983, que de sérieux défis à la position piagétienne ont vu le jour dans les années 70. Un groupe de critiques, conduit par Joe Novak a montré que l'importance accordée par David Ausubel à « l'apprentissage significatif » était un modèle de loin plus approprié, pour la recherche sur l'éducation, que celui des stades développé par Piaget. Un autre modèle fondé sur l'orientation vers le contenu et les hiérarchies d'apprentissage a été proposé par Gagné (1970) et modifié plus tard par Gagné & White. Un autre développement important a consisté en l'émergence, dans les années 1960, du champ des sciences cognitives. Parallèlement à la croissance des technologies de l'information, des modèles de traitement de l'information ont vu le jour.

Ces différentes perspectives sur la croissance intellectuelle ont entre elles au moins un élément en commun : elles mettent l'accent sur l'apprentissage de contenus. En cela, elles s'opposent à la perspective de Piaget qui étudiait le développement de structures opératoires, indépendantes du contexte. Même si ces approches sont différentes, elles analysent toutes comment les sujets apprennent des contenus organisés en ce que l'on pourrait appeler des « contenus disciplinaires de base ».

L'attention accordée à la hiérarchie des apprentissages s'est poursuivie dans les années 70 et s'est estompée dans les années 80, 90. En revanche, le domaine qui s'est développé alors a été identifié de diverses façons en termes de « *conceptions alternatives* » (Driver & Easley, 1978 ; Wandersee et al., 1994) de « *misconceptions* » (Helm & Novak, 1984), ou de « *Science des enfants* » (Gilbert et al., 1982). Dans ce genre de recherche, le travail mettait en oeuvre une collection diverse d'approches théoriques et méthodologiques, mais l'élément commun était un centrage sur l'étude de la compréhension des élèves dans un domaine conceptuel donné. Je ne ferai pas la revue de l'abondante littérature dans ce domaine, cette tâche a déjà été réalisée dans d'autres publications. Le lecteur peut, en outre, consulter deux bibliographies importantes classant les multiples études dans le domaine (Carmichael et al., 1990 ; Pfundt & Duit, 1994), et les actes de trois conférences internationales tenues en 1983, 1987 et 1993. Ces articles et conférences témoignent d'un champ important de recherches ayant atteint un stade certain de maturité.

3.1. Engagements sur le noyau dur

Les programmes de recherche piagétien et constructivistes reconnaissent le rôle de médiation des connaissances préalables lors de l'interprétation de nouvelles expériences. Les constructivistes cependant mettent l'accent sur les connaissances préalables concernant des concepts particuliers plutôt que sur des connaissances opératoires « universelles ».

Un second engagement concerne la façon dont cette connaissance construite est représentée. Dans les deux groupes, les chercheurs représentent ces connaissances en termes de structures mentales ou de modèles mentaux (Gentner & Stevens, 1983 ; Gilbert & Boulier, 1998) internes à l'individu – bien que la nature de l'analyse et les types de modèles mentaux diffèrent significativement d'un programme à l'autre. De plus, les deux groupes considèrent ces connaissances comme relativement bien structurées et stables. Les constructivistes s'intéressent particulièrement aux changements dans les structures mentales et aux moyens de les provoquer.

D'autres hypothèses de base du noyau, uniques au programme constructiviste, sont reliées à la conception de situations d'enseignement. La plupart des chercheurs travaillant dans ce programme tentent d'étudier la façon dont les élèves comprennent des contenus disciplinaires spécifiques et la nature de la relation entre les pré-connaissances des élèves et l'environnement d'apprentissage. Un engagement corollaire, qui peut avoir été bien trop optimiste, a été identifié dans notre article antérieur : « *un*

enseignement bien planifié utilisant des stratégies d'enseignement qui prennent en compte les cadres de référence des élèves amène au développement de cadres plus proches de la science scolaire » (Driver & Erickson, 1983, p. 39).

3.2. La ceinture de protection

Dans un certain nombre de domaines, le programme constructiviste a été critiqué et a donné lieu à des « *changements de problèmes* », pour employer les termes de Lakatos. Certaines de ces critiques, favorables au champ, ont mis en évidence des problèmes tels que celui de la transposition d'un modèle constructiviste de l'apprentissage à celui de l'enseignement. D'autres ont réfuté une grande partie des principes centraux du programme (Matthews, 1992, 1994).

L'argument de Matthews contre le constructivisme était double. En premier lieu, l'importance accordée à la construction de la signification (à la fois par les élèves et les scientifiques) conduit à une sorte de « *relativisme ontologique ou conceptuel* ». Ensuite, le constructivisme n'est autre qu'une forme d'empirisme où les élèves construisent leurs connaissances au hasard de leurs rencontres avec le monde empirique sans avoir recours aux inventions conceptuelles et aux symboles créés par les scientifiques. Ces deux critiques ont été adressées d'abord à Driver bien qu'elle ait (comme beaucoup dans la communauté des constructivistes) souligné que la majorité des critiques de Matthews provenaient d'une mauvaise interprétation de la littérature (Leach, 1998).

Dans une autre critique, Solomon (1994) soutient que le champ s'est développé rapidement grâce à un papier de Driver & Easley (1978), qui fournit le langage et le cadre théorique nécessaires pour initier et soutenir cette croissance. Cependant, Solomon continue à déclarer que le constructivisme est en déclin pour une série de raisons : (a) il n'existe pas de langage standardisé pour décrire les conceptions des élèves [par exemple, les conceptions des élèves, les cadres alternatifs (alternative frameworks), la science des enfants, les misconceptions, etc.] ; (b) il y a un continuel débat sur la nature et la stabilité de ces conceptions et sur la possibilité de les considérer réellement comme des théories scientifiques ; (c) les efforts déployés pour concevoir des curriculums et des stratégies d'enseignement, à partir d'un point de vue constructiviste de l'apprentissage, n'ont pas jusqu'à présent produit d'effets significatifs ; et (d) l'accent mis sur la construction individuelle des connaissances, telle qu'elle est rapportée dans bon nombre d'études, est incompatible avec le type d'apprentissage qui a lieu dans les pratiques réelles, dans les classes, les cours de récréation ou les laboratoires scientifiques.

Le problème de savoir si l'apprentissage est d'abord une activité individuelle ou s'il est le produit d'un processus socioculturel plus complexe a été débattu ces dernières années dans la communauté de recherche des constructivistes. L'apparition, dans la littérature, d'un certain nombre de théoriciens de l'apprentissage défendant une vue socioculturelle de l'apprentissage (par exemple Bruner 1990 ; Lave & Wenger, 1991 ; Wertsch & Toma, 1995 ; Lave, 1996) indique un changement significatif dans les théories de l'apprentissage. Un nouveau domaine de l'apprentissage a vu le jour : la cognition située (Brown et al., 1989 ; Hennessy, 1993).

Ces dix dernières années ont vu un mouvement vers le « socio-constructivisme » (Driver et al., 1994 ; Roth, 1995 ; Duit & Treagust, 1998). Ces changements, de mon point de vue, constituent un ajustement de la ceinture protectrice de ce programme. Ils sont accompagnés de modifications dans les méthodes de recherche, les situations d'étude, le langage et les concepts utilisés pour interpréter les phénomènes d'apprentissage des élèves. Certains pourraient penser que ces changements conduisent à un nouveau programme de recherches. Les engagements du noyau dur restent inchangés. C'est pourquoi le socio-constructivisme continue à être considéré comme partie intégrante du programme de recherche constructiviste.

D'autres critiques sont centrées sur l'importance accordée aux modèles rationnels aux dépens des composantes affectives de la cognition (Simpson et al., 1994 ; Alsop, 1999). Cet aspect apparaît plus explicitement dans la critique du modèle de changement conceptuel (Posner et al., 1982) par Pintrich et al. (1993). Il y a aussi un intérêt croissant à explorer d'autres façons de penser l'apprentissage des sciences qui ne présupposent pas des normes occidentales de rationalité comme point de départ (Aikenhead, 1996 ; Cobern & Aikenhead, 1998 ; Aikenhead, 2000).

3.3. Les méthodes heuristiques

Le programme de recherche constructiviste a introduit un nombre important de changements conceptuels et méthodologiques. Le plus important étant la reconnaissance que tous les apprenants, même les enfants les plus jeunes, sont capables de construire des conceptions pertinentes lorsqu'ils sont en interaction avec les mondes physique et social. Alors que l'entretien clinique était communément utilisé par un nombre important de chercheurs du domaine, un certain nombre de nouvelles techniques d'investigation de la compréhension des élèves ont été inventées (White & Gunstone, 1992, pour une excellente clarification de ces méthodes).

Les apports des nombreuses études portant sur la compréhension des élèves ont fondé la théorisation des processus d'apprentissage et le développement de programmes pédagogiques centrés sur l'amélioration de l'apprentissage des sciences.

Dès le début, il était clair que les retombées pédagogiques étaient critiques pour la majorité des chercheurs de cette tradition. Un certain nombre d'entre eux se sont focalisés sur la conception de séquences d'enseignement et de matériel didactique. Plus récemment, la perspective constructiviste a constitué un des principaux cadres de référence pour la réalisation d'ouvrages de vulgarisation scientifique utilisés au Canada et aux États-Unis appelés « Science Plus » (McFadden et al., 1990) et de deux ouvrages méthodologiques pour l'enseignement des sciences au niveau élémentaire (Bloom, 1997 ; Ebenezer & Haggerty, 1999).

Le passage de l'apprentissage individuel vers des formes plus socioculturelles d'apprentissage a conduit à de nouvelles approches pédagogiques. Les tenants des aspects culturels de l'apprentissage recommandent de donner une place aux pratiques de communautés scientifiques (par exemple : Nespors, 1994 ; Lave, 1996). Ceux qui mettent l'accent sur les aspects sociaux de l'apprentissage s'attachent particulièrement à la mise en place d'un environnement dynamique, favorisant la collaboration où l'accent est mis sur l'apprentissage du groupe plutôt que sur l'apprentissage individuel (par exemple Brown, 1992 ; Bereiter & Scardamalia, 1993). Cette différence de centration sur le groupe ou l'individu a constitué la base d'une série de trois articles dans « Educational researcher » en 1994 par Bereiter (1994), Cobb (1994), Driver et al. (1994).

Comme nous l'avons fait pour le programme piagétien, nous pouvons utiliser la compilation de White (sous presse) concernant la fréquence d'utilisation de termes dans les résumés d'ERIC, pour dresser la carte des tendances dans le programme constructiviste. Le tableau ci-dessous présente une série de termes étroitement associés à ce programme (tableau 2). La comparaison des tableaux 1 et 2 fait clairement apparaître que le programme constructiviste a acquis une position dominante dans la littérature concernant l'apprentissage des sciences.

Termes utilisés	1971-1975	1976-1980	1981-1985	1986-1990	1991-1995
Constructivisme	0	2	3	57	214
Conception ou Misconception	24	36	134	269	355
Analogies ou métaphores	24	34	58	69	135

Tableau 2 : Nombre de résumés dans la banque ERIC utilisant les termes associés au programme constructiviste

4. LE PROGRAMME DE RECHERCHE PHÉNOMÉNOLOGIQUE

L'émergence du programme phénoménologique peut être due en partie aux critiques du programme constructiviste. Ces critiques s'adressaient aux engagements sur le noyau dur et, selon moi, représentent une tentative de développement d'un programme de recherche nouveau et unique. Les deux engagements rejetés par ces critiques sont : la tâche du chercheur est de décrire l'évolution des modèles mentaux construits par l'apprenant ; le lieu de l'investigation est principalement l'individu construisant sa connaissance, qui répond et s'adapte aux contextes personnel, social et culturel.

Pour les phénoménologistes, l'apprentissage n'est pas une construction de structures mentales, mais consiste plutôt à établir des relations entre l'apprenant et le monde. Une des tâches de ces chercheurs est donc d'éclairer la nature de ces relations. Bien qu'un grand nombre d'approches phénoménologiques différentes aient émergé dans la littérature au cours de ces vingt dernières années, je ne discuterai en détail que l'une d'entre elles appelée phénoménographie (Marton & Booth, 1997), parce que cette communauté de recherche a une plus longue histoire que d'autres et que ses membres ont étudié de nombreux domaines pertinents pour l'éducation scientifique. Je vais brièvement faire allusion à une approche émergente appelée « *énactivisme* » (Varela et al., 1991 ; Davis et al., 1996 ; Davis et al., sous presse), qui, selon moi, a un potentiel considérable mais se situe encore au début de son développement dans la littérature du champ de l'éducation. Ces deux approches partagent un certain nombre d'engagements sur le noyau dur bien qu'elles se réfèrent à deux types de littératures différentes.

4.1. Engagements sur le noyau dur

Au centre des approches phénoménologiques, l'engagement est de comprendre comment les individus expérimentent le monde et apprennent à agir dans le monde. Cette perspective sur l'apprentissage est différente de celle qui est développée par Piaget et par les programmes constructivistes. En effet, ces programmes considèrent un monde indépendant et externe et les apprenants développent ou construisent des modèles internes de ce monde. Le programme phénoménologique rejette cette notion de *dualisme personne-monde*. Selon Marton & Booth : « *l'expérience n'est localisée ni dans le sujet, ni dans le monde, n'est ni psychologique, ni physique, n'est ni esprit, ni matière, les expériences comprennent une relation interne entre le sujet et le monde et c'est sa*

caractéristique fondamentale : une expérience est, par essence, non duelle » (Marton & Booth, 1997, p. 122).

Le rejet de ce dualisme s'oppose à la conception occidentale selon laquelle il est possible de déterminer des moyens fiables et valides de connaissance du monde extérieur. Il est intéressant de noter que Varela et al. (1991) considèrent le Bouddhisme comme point de départ d'une conception non duelle de penser nos expériences dans le monde, une source d'idées des manières de penser non dualiste à propos de l'expérience dans le monde. Intéressés par la cognition et la création d'un « espace moyen » entre les travaux contemporains des sciences cognitives et la phénoménologie, ils adaptent le problème du dualisme à la perspective d'un cognitiviste :

« Un scientifique des sciences cognitives qui a une orientation phénoménologique réfléchissant sur les origines de la cognition pourrait raisonner de la façon suivante : Esprits éveillés dans un monde, nous n'avons pas construit notre monde. Nous nous trouvons simplement avec lui. Nous sommes éveillés à nous-mêmes et au monde que nous habitons. Nous réfléchissons sur ce monde en même temps que nous grandissons et nous vivons. Nous réfléchissons à un monde qui n'est pas fait mais trouvé et donc, c'est aussi notre structure qui nous rend capables de réfléchir à ce monde. Alors en réfléchissant nous nous trouvons dans un cercle. (Réflexion et monde se rejoignent intimement). Nous sommes dans un monde qui semble être là avant le début de la réflexion, mais ce monde n'est pas séparé de nous » (Varela et al., 1991, p. 3).

Une fois cette position non dualiste donnée, comment les phénoménologistes considèrent-ils l'apprentissage et quelles implications cela a-t-il pour la pédagogie ? La réponse de Marton & Booth à cette question est que l'apprentissage est un processus : aller expérimenter² pour voir le monde de différentes façons. Ils distinguent leur position phénoménologique de celle du programme de recherche constructiviste en se référant à l'apprentissage comme un processus de constitution (ou souvent de reconstitution) du monde plutôt que de construction de représentations du monde. Parce que ces idées et le langage utilisé pour les exprimer sont relativement neufs, je vais les citer assez longuement. Pour eux, l'expérience est « *généralement une expérience médiatisée : nous ne sommes pas face à un phénomène comme tel mais le phénomène est décrit par d'autres. Jusqu'à un certain point, nous voyons le monde en termes de formes (patterns) d'une culture partagée avec un langage partagé. Notre propre monde devient aussi de plus en plus le monde des autres, et ce dernier, le monde dont on a déjà l'expérience, constitue un point d'appui pour l'apprentissage de même que pour les actes de l'individu. Ceci constitue une différence importante avec le constructivisme individuel qui voit la*

connaissance comme une construction personnelle, dans l'individu, et avec le constructivisme social qui considère le social, le culturel, la situation extérieure à l'individu, comme la structure de la connaissance [...] Selon nous, l'apprentissage a lieu, la connaissance naît, grâce à un changement de « quelque chose » du monde dans l'expérience d'une personne. Une nouvelle façon de faire l'expérience de quelque chose est constituée par des relations personne-monde et implique les deux [...] L'apprentissage consiste surtout à reconstituer un monde déjà constitué » (Marton & Booth, 1997, p. 139).

Quelles sont les implications pédagogiques qui émergent de cette position ? Marton & Booth identifient deux principes pour « apprendre à faire des expériences » :

- la structure pertinente de la situation,
- l'architecture de la variation.

La structure pertinente n'amène pas seulement l'apprenant à prendre conscience des caractéristiques de la situation, mais aussi à apprendre quels aspects de la situation apparaissent plus ou moins pertinents pour les buts et objectifs de l'activité. Si l'apprentissage constitue un changement dans la capacité de faire l'expérience d'un phénomène, nous devons donc avoir une idée de ce qui est requis pour provoquer ce changement. Marton & Booth parlent d'un mécanisme de « variation ». Ils postulent que les sources de cette variation peuvent provenir de l'individu lui-même, – par exemple un type de « variation réfléchie » ; ou il peut provenir de l'extérieur – par exemple, d'autres façons de faire l'expérience d'un phénomène proposé par d'autres participants à la situation. Ces sources de création d'un environnement d'apprentissage efficace font penser à celles qui sont identifiées par le programme constructiviste.

4.2. Ceinture protectrice

Puisque ce programme est relativement récent, il n'a pas donné lieu à des critiques fondamentales dans le domaine de l'apprentissage des sciences. Cependant Marton et ses collègues de l'université de Göteborg ont développé leur « perspective phénoménographique » depuis une vingtaine d'années et il y a quelques années, une série d'articles qui examinaient de façon critique l'ensemble des travaux de cette tradition qui ont été publiés (Dall'Alba & Hasselgren, 1996). Il y avait plusieurs thèmes communs à ces critiques. Brièvement résumées, ces critiques portent sur :

- la nécessité de développer et clarifier les hypothèses ontologiques et épistémologiques sous-jacentes à la phénoménographie ;

- la nécessité de cohérence entre buts, ontologie, épistémologie et méthodologie ;
- la nécessité de considérer la nature sociale et discursive de l'expérience humaine comme une partie du processus de recherche ;
- la nécessité de montrer un lien plus étroit entre la phénoménographie et la pédagogie.

Ces critiques sont générales, elles pourraient être adressées à la plupart des programmes de recherche. Ce programme est émergent et la plupart de ces articles ont été publiés récemment. Il n'existe donc pas de recul suffisant pour déterminer si ces critiques ont eu un impact sur le programme phénoménographique. Marton (1996) a répondu à une série de ces critiques dans un article de conclusion de cette collection (Dall'Alba & Hasselgren, 1996) et a développé sa position sur la pédagogie (Marton & Booth, 1997) en réponse possible au dernier point mentionné ci-dessus.

4.3. Les méthodes heuristiques

La méthode de recueil de données utilisée par les phénoménographes est semblable à celle des programmes de recherche antérieurs : l'entretien clinique en profondeur. Cependant, leurs méthodes d'analyse et leur manière d'interpréter les entretiens sont différentes (Johansson et al., 1985 ; Marton, 1988). Plutôt que de postuler des structures mentales construites par les élèves, une approche phénoménographique identifie qualitativement différents moyens de faire l'expérience du monde. Ces variations dans les manières qu'ont les gens d'expérimenter un phénomène donné sont dépeintes comme des « catégories de description ». La tâche du chercheur consiste alors, à partir des caractéristiques particulières du phénomène et des participants, à dépeindre un ensemble de catégories, aussi complet que possible, tout en reconnaissant que cet ensemble ne sera jamais exhaustif.

Une autre différence essentielle entre l'approche phénoménologique et les programmes précédents est que les individus ne sont pas classés dans des catégories particulières ; c'est la relation entre l'individu et la situation qui est décrite et qui peut changer profondément pour un même individu lors du même interview (cf. Linder & Erickson, 1989). La phénoménographie ne souffre donc pas du problème de la création de descriptions rigides du fonctionnement cognitif, comme le firent les programmes antérieurs. Linder (1993) prend cette caractéristique de la phénoménographie comme une des plus puissantes. Il s'oppose à la vision du changement conceptuel selon laquelle une conception est remplacée

par une autre. Il soutient que nous devrions tenter d'améliorer la capacité des élèves à apprécier la variabilité des conceptions (c'est-à-dire différentes façons d'expérimenter le monde) et de reconnaître la manière la plus appropriée pour un contexte et un projet précis.

Le groupe de Göteborg a mené un certain nombre d'études relatives à une variété de domaines conceptuels : densité, force, matière, mole, mouvement. Le concept de mole a fait l'objet d'une étude très complète (Lybeck et al., 1988 ; Tullberg et al., 1994). Ce travail a conduit à développer une séquence d'enseignement qui a permis à la fois aux enseignants et aux élèves d'explorer et d'apprécier les différentes façons d'interpréter le concept de mole et de l'utiliser pour des résolutions de problèmes en chimie (Tullberg, 1998).

Même s'il n'existe qu'un nombre limité d'études concernant les dimensions pédagogiques du programme phénoménologique (Davis, 1996 ; Sumara, 1996 ; Tullberg, 1998 ; Kass & MacDonald, 1999 ; Davis et al., sous presse), un certain nombre de caractéristiques importantes distinguent ce programme pédagogique des précédents. En tenant compte de l'importance de l'expérimentation du monde dans des situations les plus complexes les unes que les autres, « *enseigner consiste moins à aider les élèves à savoir ce qu'ils ne savent pas qu'à les aider à prendre conscience de ce qu'ils n'avaient pas noté. Enseigner consiste à modifier la perception, c'est-à-dire à pointer divers aspects du monde en visant délibérément à favoriser des habitudes différentes de perception/interprétation [...] Cela implique une étude des perspectives, des positionnements et des points de vue* » (Davis et al., sous presse).

La tâche de l'enseignant consiste alors à constituer un environnement pédagogique qui encourage les élèves à comparer et mettre en contraste les expériences présentes avec celles vécues précédemment pour créer de nouvelles interprétations de ces expériences. De plus, l'enseignant doit être préparé à perturber délibérément les habitudes quotidiennes de « l'esprit et de la pratique » des élèves de manière à les encourager à s'engager dans des actes de création et d'invention.

QUELQUES REMARQUES DE CONCLUSION

Dans cet article, j'ai cherché à montrer comment le domaine de l'apprentissage des sciences a évolué au cours de ces vingt dernières années et à identifier des problèmes qui ont émergé. Je l'ai fait en partie parce que je pense qu'il y a eu un changement dans les programmes de recherche durant cette période, qui a conduit à des changements de perspectives théoriques, de pratiques méthodologiques et de résultats

importants dans cette communauté de recherche. Malheureusement, et j'en suis conscient, peu de changements se sont manifestés dans la communauté de l'enseignement des sciences. La preuve de tels changements est anecdotique, au mieux ou de sources secondaires, tels les documents donnant les orientations générales des politiques³ ou les curriculums.

Ainsi, il y a eu clairement des changements significatifs dans les façons de conduire les recherches sur l'enseignement. Avec les changements dans les méthodes de recherche qui mettaient l'accent sur la description de l'apprentissage des élèves, la recherche sur l'enseignement est devenue plus approfondie, plus élaborée et plus complexe. Par contraste avec les conceptions antérieures où un module de deux ou trois semaines était consacré à l'enseignement d'un concept particulier, les études les plus récentes concernant la classe tiennent compte de la complexité inhérente à l'apprentissage en classe. Ces dernières études mettent au premier plan le rôle important joué par les échanges linguistiques et cognitifs entre tous les participants d'une classe et reconnaissent qu'un temps important est nécessaire à l'évaluation des résultats de l'apprentissage. Ces changements dans la nature des études sur la classe émergent des nouvelles perspectives théoriques qui mettent l'accent sur l'environnement sociolinguistique de l'apprentissage des sciences.

L'avenir

Alors que le domaine de l'apprentissage des sciences a connu de grands changements au cours de ces vingt dernières années, il reste encore de nombreux problèmes théoriques et méthodologiques. J'ai montré dans cet article que le programme constructiviste a dominé la littérature sur l'apprentissage au cours de ces quinze dernières années. Néanmoins, il existe encore une tension entre ceux qui cherchent à décrire les structures mentales des individus et ceux qui préfèrent des méthodes plus holistiques et de descriptions de la co-construction sociale de la connaissance mettant l'accent sur l'acculturation des élèves dans une communauté de pratiques. D'un côté, Cobb (1995) a tenté de réunir ces deux approches dans ce qu'il appelle une « *perspective émergente* ». Il propose que les chercheurs utilisent une approche plus pragmatique pour leurs recherches et qu'ils mettent l'accent sur l'amélioration de l'enseignement plutôt que sur le développement d'une théorie de la cognition ou de l'apprentissage. D'un autre côté, di Sessa (1991) plaide pour une réflexion théorique de notre pratique de recherche en éducation. Il souligne un nombre de stratégies heuristiques pour rejoindre les engagements théoriques de nos recherches.

Avec cet article, dans lequel l'engagement d'accepter le noyau dur joue un rôle crucial pour la distinction entre les programmes de recherche, je me rallie clairement aux préoccupations de di Sessa. N'oublions pas cependant de tenir compte des propos de Cobb concernant l'amélioration de l'enseignement. Heureusement ces deux initiatives ne sont pas incompatibles et sont bien illustrées dans un texte à paraître de Davis et al. (sous presse).

Il est encourageant de constater que, depuis vingt ans, les recherches se sont beaucoup plus centrées sur la classe. Cependant je pense que nos efforts devraient être beaucoup plus systématiques et délibérés dans cette perspective. Un mouvement prometteur récent, dans la recherche centrée sur la classe, fait référence soit à des « *conceptions d'expériences (design experiments)* » (Brown, 1992 ; Hawkins & Collins, sous presse) ou à des « *expériences d'enseignement (teaching experiments)* » (Cobb, 1994, 1995 ; Cobb & Yackel, 1995). Ce qui distingue ces approches expérimentales de la plupart des études actuelles centrées sur la classe sont les efforts pour rendre explicites les principes utilisés dans la conception et pour développer une littérature cumulative traitant de l'utilisation de ce type d'approche à la recherche en éducation.

Une autre tendance prometteuse, selon moi, se situe dans le mouvement amenant les praticiens de l'enseignement à être plus actifs dans les recherches concernant leurs propres pratiques et leurs propres classes (Loughran & Northfield, 1996 ; Mitchell & Mitchell, 1997 ; Loughran, 1999 ; Mitchell, 1999). Jusqu'à récemment, la plupart des recherches centrées sur la classe, qui sont rapportées dans la littérature, ont été initiées et supportées par des chercheurs universitaires [cf. les travaux de CLIS (Children's Learning in Science Project) et ceux de Roth]. Cette première étape de travail avec les enseignants est importante. Le pouvoir de prendre des décisions concernant les objets et les méthodes d'investigation doit cependant se décaler vers les enseignants. Nous avons besoin de développer des modèles d'investigation menée avec des collaboration plus équitables et sophistiquées que ceux développés jusqu'à présent (Hoban & Erickson, 1998).

Finalement, je pense que nous sommes à un stade, à la fois pour la littérature de recherche sur les conceptions des élèves et pour la littérature émergente des recherches centrées sur la classe, où il y a besoin de consolider les résultats antérieurs. Il est important que cette synthèse dépasse le travail bibliographique qui a été fait jusqu'à présent dans le domaine. Il importe en effet de construire une cohérence conceptuelle et pédagogique par rapport aux résultats connus en utilisant différentes méthodes et des contextes éducationnels différents. Deux cadres de référence doivent être pris en compte par ceux qui réalisent les synthèses.

Le premier est une explicitation des engagements théoriques utilisés par les auteurs des synthèses. Le second est la perspective pédagogique qui influence cette synthèse. Certains efforts de synthèse de ce type ont déjà été faits par Driver et al. (1985), un autre, ultérieur, par Fensham et al. (1994). Les premiers utilisaient un cadre de référence constructiviste implicite. Dans le second texte, ce cadre de référence était explicite. Néanmoins, je pense qu'une activité à long terme, centrée sur des domaines particuliers avec des cadres de référence explicites serait grandement souhaitable.

En conclusion de cet article, je ne suis pas aussi optimiste que Wandersee et al. qui affirment que « *la synthèse constructiviste apparaît largement partagée et peut devenir la première perspective de recherche dans le domaine. Elle a déjà commencé à être " traduite " pour les enseignants en sciences et influence la pratique de la classe* » (Wandersee et al., 1994). Je pense que la littérature à propos des conceptions alternatives devient quelque peu moribonde (pour emprunter une phrase très connue de Schwab) et je ne vois certainement pas de preuve de changements dans la pratique de la classe. Je suis plutôt d'accord avec les généralisations proposées par Wandersee et al (1994) à partir d'une étude de chercheurs de premier plan s'interrogeant sur l'avenir de la recherche dans le domaine. Certaines de ces généralisations (par exemple le besoin *d'explorer les dimensions culturelles de l'apprentissage* et celui de *s'intéresser au changement conceptuel*) ont déjà été mises en acte (Cobern & Aikenhead, 1998 ; Hewson et al., 1998 ; Aikenhead, 2000). D'autres (le besoin de *fondations théoriques solides*, un centrage plus grand sur *l'intégration des résultats des recherches et sur les processus et pratiques de la classe*) font largement défaut.

Dans une revue récente de la littérature concernant l'apprentissage, Duit & Treagust (1998) reconnaissent la tension entre les points de vue de la construction personnelle et sociale de la connaissance mais concluent « *les positions concurrentes mettent l'accent sur différents aspects du processus d'apprentissage. Les recherches ultérieures ne devraient pas s'attacher aux différences mais présenter une vue intégrative de l'apprentissage et conceptualiser les différentes positions comme complémentaires. Ceci amènerait les chercheurs à étudier le processus complexe de l'apprentissage plus adéquatement que selon une seule des visions.* » (Duit & Treagust, 1998, p. 3).

Je pense que cette option « non compétitive » néglige le rôle important joué par le cadre théorique sous-jacent des chercheurs. À moins que des efforts soient faits pour développer un cadre conceptuel sur l'apprentissage comme Cobb (1995) et Davis et al. (sous presse) sont en train de le faire, je pense que le domaine va continuer à être caractérisé par

des méthodes de recherche fragmentées, des résultats contestés et différer le développement de nouvelles perspectives pédagogiques. Selon moi, la marche à suivre est de considérer avec attention la position la plus holistique proposée par les partisans du programme de recherche phénoménologique. Ces chercheurs stipulent que la distinction entre l'individu et le contexte social est fallacieuse de même que le dualisme esprit – corps. Le travail conceptuel et empirique commencé dans ce programme de recherche émergeant justifie une attention particulière par la communauté de recherche en didactique des sciences pour les prochaines années.

NOTES

1. Un mécanisme similaire est proposé par Stephen Gould (1996) pour les changements qui se produisent dans les organismes biologiques avec le temps, bien qu'il y réfère comme un « principe de diversité ».

2. Attention ici il ne s'agit pas d'une expérience scientifique mais le sens d'expérience (experience en anglais) est celui français « d'acquérir de l'expérience, c'est une personne d'expérience ».

3. Par exemple, la centration sur le contenu s'est décalée de la structure du savoir en jeu vers l'investigation des élèves et l'habileté à communiquer des idées scientifiques. Ceci s'est manifesté aux USA dans plusieurs documents des « standards » (AAAS, 1993 ; NRC, 1996). En Angleterre cela a été mis en jeu dans le curriculum national (DFEE/QCA, 1999) comme un « but à atteindre ».

BIBLIOGRAPHIE

- AAAS (American Association for the Advancement of science) (1993). *Benchmarks for Scientific Literacy*. Washington, AAAS.
- ABRAHAM M. (1998). The learning cycle approach as a strategy for instruction in science. In B. Fraser & K. Tobin (Éds), *International Handbook of Science Education*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 513-524.
- ADEY P. & SHAYER M. (1994). *Really Raising Standards : Cognitive Intervention and Academic Achievement*. London, Routledge.
- AIKENHEAD G.S. (1996). Science Education : Border-crossing into the subculture of science. *Studies in Science Education*, n° 27, pp. 1-52.
- ALSOP S. (1999). Testing the temperature : Exploring the affective domain in science education. Paper presented at the *Annual Meeting of the Canadian Society for the Study of Education*, Sherbrook, Québec.
- AUSUBEL D., NOVAK J. & HANESIAN H. (1978). *Educational Psychology : a Cognitive View*. New York, Holt, Rinehart & Winston.

- BEREITER C. (1994). Constructivism, socioculturism and Popper's World 3. *Educational Researcher*, vol. 23, n° 7, pp. 21-23.
- BEREITER C & SCARDAMALIA M. (1993). *Surpassing Ourselves. An Inquiry into the Nature and Implications of Expertise*. Chicago, Open Court.
- BLOOM J. (1997). *Creating a classroom community of young scientists*. Toronto, Irwin Pub.
- BROWNA. (1992). Design experiments : Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions. *Journal of the Learning Sciences*, vol. 2, n° 2, pp. 141-178.
- BROWN J.S., COLLINS A. & DUGUID P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, vol. 18, n° 1, pp. 32-42.
- BRUNER J. (1990). *Acts of meaning*. Cambridge (Mass.), Harvard University Press.
- CARMICHAEL P., DRIVER R., HOLDING B., PHILLIPS I., TWIGGER D. & WATTS M. (1990). *Research on Students, Conceptions in Science : A Bibliography*. Leeds, Centre for Studies in Science and Mathematics Education.
- COBB P. (1994). Where is the mind ? Constructivist and sociocultural perspectives on mathematical development. *Educational Researcher*, vol. 23, n° 7, pp. 13-20.
- COBB P. (1995). Continuing the conversation : A response to Smith. *Educational Researcher*, vol. 24, n° 7, pp. 25-27.
- COBB P. & YACKEL E. (1995). Constructivist, emergent, and sociocultural perspectives in the context of developmental research. Paper presented at *the annual meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, Columbus, Ohio*.
- COBERN W.W. & AIKENHEAD G.S. (1998). Cultural aspects of learning science. In B. Fraser & K. Tobin (Éds), *International Handbook of Science Education*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 39-52.
- DALL'ALBA G. & HASSELGREN B. (Éds.) (1996). *Reflections on Phenomenography : Toward a Methodology ?* Göteborg, Acta Universitatis Gothoburgensis.
- DAVIS B. (1996). *Teaching Mathematics : Toward a Sound Alternative*. New York, Garland.
- DAVIS B., SUMARA D. & KIEREN T. (1996). Cognition, co-emergence, curriculum. *Journal of Curriculum Studies*, n° 28, pp. 151-169.
- DAVIS B., SUMARA D. & LUCE-KAPLER R. (in press). *Engaging Minds : Learning and Teaching in a Complex World*. Mahwah, Erlbaum.
- DFEE/QCA (Department for Education and Employment/Qualifications and Curriculum Authority) (1999). *Science. The National Curriculum for England*. London, DFEE/QCA.
- DI SESSA A. (1991). If we want to get ahead, we should get some theories. In *Proceedings of the 13th Annual Meeting of the Psychology of Mathematics Education, vol. 1*. Blacksburg, Psychology of Mathematics Education Group.
- DRIVER R. (1978). When is a stage not a stage ? A critique of Piaget' s theory of cognitive development and its application to science education. *Educational Research*, vol. 21, n° 1, pp. 54-61.
- DRIVER R. & EASLEY J. (1978). Pupils and paradigms : A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, n° 5, pp. 61-84.
- DRIVER R. & ERICKSON G. (1983). Theories-in-action : Some theoretical and empirical issues in the study of students, conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education*, n° 10, pp. 37-60.
- DRIVER R., GUESNE E. & TIBERGHEN A. (1985). *Children's Ideas in Science*. Buckingham, Open University Press.

- DRIVER R., ASOKO H., LEACH J., MORTIMER E.F. & SCOTT P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, vol. 23, n° 7, pp. 5-12.
- DUIT R. & TREGUST D. (1998). Learning in science from behaviourism towards social constructivism and beyond. In B. Fraser & K. Tobin (Éds), *International Handbook of Science Education*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 3-25.
- EBENEZER J. & HAGGERTY S. (1999). *Becoming a secondary school science teacher*. Upper Saddle River, Merrill.
- EYLON B.-S. & LINN M.C. (1988). Learning and instruction : An examination of four research perspectives in science education. *Review of Educational Research*, n° 58, pp. 251-301.
- FARNHAM-DIGGORY S. (1994). Paradigms of knowledge and instruction. *Review of Educational Research*, vol. 64, n° 3, pp. 463-477.
- FELDMAN D. (1980). *Beyond Universals in Cognitive Development*. Norwood, Ablex.
- FENSHAM P., GUNSTONE R. & WHITE R. (Éds) (1994). *The Content of Science : A Constructivist Approach to its Teaching and Learning*. London, Falmer.
- GAGNÉ R. (1970). *Conditions of Learning*. New York, Holt, Rinehart & Wilson.
- GAGNÉ R. & WHITE R. (1978). Memory structures and learning outcomes. *Review of Educational Research*, vol. 48, n° 2, pp. 187-222.
- GENTNER D. & STEVENS A. (1983). *Mental models*. Mahwah, Erlbaum.
- GILBERT J., OSBORNE R. & FENSHAM P. (1982). Children's science and its consequences for teaching. *Science Education*, vol. 66, n° 4, pp. 623-633.
- GILBERT J.K. & BOULTER C.J. (1998). Learning science through models and modelling. In B. Fraser & K. Tobin (Éds.), *International Handbook of Science Education*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 53-66.
- GOULD S. (1996). *Full House : The Spread of Excellence from Plato to Darwin*. New York, Harmony Books.
- HAWKINS J. & COLLINS A. (Éds) (in press). *Design Experiments : Using Technology to Restructure Schools*. New York, Cambridge University Press.
- HELM H. & NOVAK J. (1983). Proceedings of the *First International Seminar on Student Misconceptions in Science and Mathematics*. Ithaca, Cornell University, Department of Education.
- HOBAN G. & ERICKSON G. (1998). Frameworks for Sustaining Professional Learning. Paper presented at the *Australasian Science Education Research Conference in Darwin, Australia*.
- HENNESSY S. (1993). Situated cognition and cognitive apprenticeship : Implications for classroom learning. *Studies in Science Education*, n° 22, pp. 1-41.
- HEWSON P.W., BEETH M.E. & THORLEY N.R. (1998). Teaching for conceptual change. In B. Fraser & K. Tobin (Éds), *International Handbook of Science Education*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 199-218.
- JOHANSSON B., MARTON F. & SVENSSON L. (1985). An approach to describing learning as change between qualitatively different conceptions. In L. West & L. Pines (Éds), *Cognitive Structure and Conceptual Change*. New York, Academic Press, pp. 233-257.
- KASS H. & MACDONALD L. (1999). The learning contribution of student self-directed building activity in science. *Science Education*, vol. 83, n° 4, pp. 449-471.
- LAKATOS I. (1970). *The Methodology of Scientific Research Programmes : Philosophical Papers, vol. I*. Cambridge, Cambridge University Press.
- LARKIN J., MCDERMOTT J., SIMON D. & SIMON H. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, n° 208, pp. 1335-1342.

- LAVE J. (1996). Teaching, as learning, in practice. *Mind Culture and Activity : An International Journal*, vol. 3, n° 3, pp. 149-164.
- LAVE J. & WENGER E. (1991). *Situated learning : Legitimate Peripheral Performance*. New York, Cambridge University Press.
- LAWSON A.E. (1994). Research on the acquisition of science knowledge : Epistemological foundations of cognition. In D. Gabel (Éd.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York, Macmillan, pp.131-176.
- LEACH J. (1998) & DRIVER R. (1941, 1997). A tribute to her contribution to research in science education. In M. Méheut & G. Rebmann (Éds), *Theory, Methodology and Results of Research in Science Education : Proceedings of the Fourth European Science Education Summer School*. Paris, Université Paris 7, pp. 12-29.
- LINDER C. (1993). A challenge to conceptual change. *Science Education*, vol. 77, n° 3, pp. 293-300.
- LINDER C. & ERICKSON G. (1989). A study of tertiary physics students, conceptualizations of sound. *International Journal of Science Education*, vol. 11, n° 5, pp. 491-501.
- LOUGHRAN J. (1999). Researching teaching for understanding. In J. Loughran (Éd.), *Researching Teaching : Methodologies and practices for Understanding Pedagogy*. London, Falmer, pp. 1-9.
- LOUGHRAN J. & NORTHFIELD J. (1996). *Opening the Classroom Door : Teacher, Researcher, Learner*. London, Falmer.
- LYBECK L., MARTON F., STRÖMDAHL H. & TULLBERG A. (1988). The phenomenography of the mole concept, in chemistry. In P. Ramsden (Éd.), *Improving Learning : New Perspectives*. London, Kogan Page, pp. 81-108.
- McFADDEN C., ARMOUR N., MOORE A. & MORISSON E. (1990). *Science Plus : Technology and Society*. Toronto, Harcourt Brace Jovanovich.
- MARTON F. (1988). Phenomenography : Exploring different conceptions of reality. In D.M. Fetterman (Éd.), *Qualitative Approaches to Evaluation in Education*. London, Praeger, pp. 176-205.
- MARTON F. (1996). *Cognosco ergo sum reflections on reflections*. In G. Dall'Alba & B. Hasselgren (Éds.), *Reflections on Phenomenography : Toward a Methodology ?* Göteborg, Acta Universitatis Gothoburgensis, pp. 163-187.
- MARTON F. & BOOTH S. (1997). *Learning and Awareness*. Mahwah, Erlbaum.
- MATTHEWS M. (1992). Constructivism and empiricism : An incomplete divorce. *Research in Science Education*, n° 22, pp. 299-307.
- MATTHEWS M. (1994). Discontent with constructivism. *Studies in Science Education*, n° 24, pp. 165-172.
- METZ K.E. (1998). Scientific inquiry within reach of young children. In B. Fraser & K. Tobin (Éds), *International Handbook of Science Education*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 81-96.
- MILLAR R. (1989). Constructive criticisms. *International Journal of Science Education*, vol. 11, n° 5, pp. 587-596.
- MITCHELL I. (1999). Bridging the gap between research and practice. In J. Loughran (Éd.), *Researching Teaching : Methodologies and practices for Understanding Pedagogy*. London, Falmer, pp. 44-64.
- MITCHELL I. & MITCHELL J. (1997). *Stories of Reflective Teaching : A Book of PEEL Cases*. Melbourne, PEEL Publishing.
- NESPOR J. (1994). *Knowledge in Motion : Space, Time and Curriculum in Undergraduate Physics and management*. London, Falmer.

- NOVAK J. (1978). A alternative to Piagetian psychology for science and mathematics education. *Studies in Science Education*, n° 5, pp. 1-30.
- NRC (National Research Council) (1996). *National Science Education Standards*. Washington, National Academy Press.
- PFUNDT H. & DUIT R. (1994). *Bibliography : Students Alternative Frameworks and Science Education (4th edition)*. Kiel, IPN.
- PIAGET J. (1970). *Genetic Epistemology*. New York, Columbia University Press.
- PINTRICH P.R., MARX R.W. & BOYLE R.A. (1993). Beyond cold conceptual change : The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, vol. 63, n° 2, pp. 167-199.
- POSNER G.J., STRIKE K.A., HEWSON P.W. & GERTZOG W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception : Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, vol. 66, n° 2, pp. 211-227.
- ROTH W.-M. (1995). *Authentic school science : Knowing and learning in open-inquiry laboratories*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- SCIS (1970). *Science Curriculum Improvement Study*. Chicago, Rand-McNally.
- SIEGEL L. & BRAINERD C. (Éds) (1978). *Alternatives to Piaget : Critical Essays on the Theory*. New York, Academic Press.
- SIMPSON R., KOBALLA T. & OLIVER S. (1994). Research on the affective dimension of science learning. In D. Gabel (Éd.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York, Macmillan, pp. 211-234.
- SOLOMON J. (1994). The rise and fall of constructivism. *Studies in Science Education*, n° 23, pp. 1-19.
- SUMARA D. (1996). *Private Readings in Public : Schooling the Literary Imagination*. New York, Peter Lang.
- TULLBERG A. (1998). *Teaching the Mole : A Phenomenographic Inquiry into the Didactics of Chemistry*. Doctoral dissertation, University of Göteborg.
- TULLBERG A., STRÖMDAHL H. & LYBECK L. (1994). Students' conceptions of 1 mole and educators ; conceptions of how they teaching «the mole». *International Journal of Science Education*, vol. 16, n° 2, pp. 145-156.
- VARELA F., THOMPSON E. & ROSCH E. (1991). *The Embodied Mind : Cognitive Science and Human Experience*. Cambridge (Mass.), MIT Press.
- WANDERSEE J.H., MINTZES J.J. & NOVAK J.D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. Gabel (Éd.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York, Macmillan, pp. 177-210.
- WERTSCH J. & TOMA C. (1995). Discourse and social dimensions of knowledge and classroom teaching. In L. Steffe & J. Gale (Éds), *Constructivism in Education*. Hillsdale, Erlbaum, pp. 159-175.
- WHITE R. (in press). The revolution in research on science teaching. In V. Richardson (Éd.), *Handbook of Research on Teaching*.
- WHITE R. & GUNSTONE R. (1992). *Probing Understanding*. London, Falmer.