Document généré le 26 juin 2025 05:42

Revue des sciences de l'éducation

Problématique de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences au secondaire : un état de la question

Marie-Françoise Legendre

Volume 20, numéro 4, 1994

URI : https://id.erudit.org/iderudit/031761ar
DOI : https://doi.org/10.7202/031761ar

Aller au sommaire du numéro

Éditeur(s)

Revue des sciences de l'éducation

ISSN

0318-479X (imprimé)
1705-0065 (numérique)

Découvrir la revue

Citer cet article

Legendre, M.-F. (1994). Problématique de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences au secondaire : un état de la question. *Revue des sciences de l'éducation*, *20*(4), 657–677. https://doi.org/10.7202/031761ar

Résumé de l'article

Dans un contexte social qui valorise la formation scientifique et technologique comme outil d'adaptation et d'insertion sociale, les multiples échecs et difficultés rencontrés par les élèves dans l'apprentissage des sciences posent des défis importants aux enseignants du secondaire et à ceux qui ont pour tâche de les former. Cet article tente de cerner, à travers l'analyse des écrits, les problèmes d'ordre épistémologique, didactique, pédagogique, socioculturel que soulèvent aussi bien l'apprentissage que l'enseignement des sciences. Nous présentons quelques conséquences pratiques des problèmes soulevés et nous suggérons des pistes à explorer.

Tous droits réservés © Revue des sciences de l'éducation, 1994

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne.

https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche.

https://www.erudit.org/fr/

Revue des sciences de l'éducation, Vol. XX, n° 4, 1994, p. 657 à 677

Problématique de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences au secondaire: un état de la question

Marie-Françoise Legendre
Professeure
Université de Montréal

Résumé – Dans un contexte social qui valorise la formation scientifique et technologique comme outil d'adaptation et d'insertion sociale, les multiples échecs et difficultés rencontrés par les élèves dans l'apprentissage des sciences posent des défis importants aux enseignants du secondaire et à ceux qui ont pour tâche de les former. Cet article tente de cerner, à travers l'analyse des écrits, les problèmes d'ordre épistémologique, didactique, pédagogique, socioculturel que soulèvent aussi bien l'apprentissage que l'enseignement des sciences. Nous présentons quelques conséquences pratiques des problèmes soulevés et nous suggérons des pistes à explorer.

Introduction

La problématique de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences n'est pas neuve; elle a fait l'objet de nombreux débats depuis plusieurs décennies (De Boer, 1991). Que doit-on enseigner? Dans quel but doit-on l'enseigner? À quel niveau et comment l'enseigner? Ce sont là des questions récurrentes auxquelles les chercheurs ont tenté d'apporter diverses réponses, en se basant notamment sur des données d'épistémologie, de psychologie et de didactique.

L'importance accrue de la science et de la technologie dans nos vies a amené à considérer la formation scientifique comme l'un des enjeux majeurs de l'avenir de nos sociétés (Fensham, 1988). On a mis l'accent de plus en plus sur l'enseignement scientifique général, c'est-à-dire sur la nécessité de faire acquérir aux jeunes les connaissances de base en sciences dans le but, non pas simplement de former des scientifiques, mais de mettre la science à la portée des non-scientifiques (Gago, 1991). Cet objectif de vulgarisation scientifique, axé sur l'acquisition d'une culture scientifique de base, comporte une double dimension sociale et individuelle: sur le plan social, il s'agit de permettre à la société d'exercer un certain contrôle sur les progrès scientifiques et techniques, et de participer davantage aux choix technologiques fondamentaux; sur le plan individuel, on souhaite amener les individus à utiliser des connaissances scien-

tifiques dans les contextes variés de leur vie quotidienne et sociale. La formation scientifique est également conçue comme pouvant contribuer au développement de la pensée conceptuelle, de l'esprit critique, du raisonnement logique. Elle s'inscrit ainsi dans le contexte d'une formation fondamentale qui renvoie elle-même à une vision d'ensemble du rôle de l'enseignement des sciences sur le développement personnel et social.

Toutefois, bien que l'on ait accordé une importance croissante à la formation scientifique au secondaire, on constate, un peu partout dans le monde, un échec assez massif de l'enseignement des sciences (Walberg, 1991). Cet échec se reflète notamment par un faible niveau de réussite, par un manque d'intérêt pour la science et par une attitude assez peu scientifique à l'égard des phénomènes. Ainsi, en dépit de tentatives répétées pour améliorer les programmes et pour assurer une formation mieux adaptée aux exigences de la société contemporaine, l'enseignement des sciences n'a pas réussi à atteindre les objectifs qu'il s'était fixés. Dans les années quatre-vingt, une certaine inquiétude est née tant aux États-Unis (National Commission on Excellence in Education, 1983) et en Europe (Fourez, 1989) qu'ici même (Desautels, 1980; Nadeau et Desautels, 1984). Le manque de culture scientifique et la faiblesse des connaissances et des habiletés de base en sciences ont suscité un intérêt accru à l'égard de la problématique de l'enseignement des sciences. Ce n'est certes pas la pertinence de la formation scientifique qui est mise en jeu, mais son insuccès et les causes de ce dernier.

Si la nécessité d'inculquer une formation scientifique de base à tous les citoyens apparaît de plus en plus acceptée, la question qui se pose est de savoir en quoi consiste cette formation et quelles sont les stratégies appropriées pour y parvenir. Pour apporter des éléments de réponse à cette question, nous examinerons un certain nombre de problèmes reliés à l'apprentissage et à l'enseignement des sciences et nous tenterons d'en dégager quelques impacts sur l'enseignement. Ces problèmes renvoient à des préoccupations d'ordre épistémologique et philosophique, didactique, pédagogique, psychosociologique, social et culturel. Nous les avons regroupés autour de quelques grands thèmes, à savoir les problèmes reliés à la nature du savoir scientifique, les problèmes issus de l'écart entre les savoirs scolaires et les savoirs savants, les problèmes que représentent tant pour l'enseignant que pour l'élève les nombreuses difficultés reliées à l'apprentissage des sciences, les problèmes liés au rôle de l'école ainsi qu'au contenu et à l'organisation des programmes scolaires. Notre objectif n'est certainement pas d'en faire état de façon exhaustive, mais de souligner le caractère complexe et multidimensionnel de la problématique de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences.

Problèmes reliés à la nature du savoir scientifique

Un aspect d'ordre aussi bien épistémologique que didactique a trait à la nature même du savoir scientifique et à ses modes de construction ou d'acquisition. Comment

s'accroissent les connaissances? Quel est le statut respectif de l'observation et de l'expérimentation? Quel rôle jouent les théories, les modèles et quel est leur lien avec la méthode expérimentale? En quoi consiste l'activité scientifique et quelles sont les valeurs qui s'y rattachent? Les réponses à ces questions ont nécessairement un impact sur nos conceptions de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences (Hodson, 1988).

— Les modèles implicites de la science

Quelle image de la science les élèves développent-ils à travers leur apprentissage? Il importe ici de noter que ce n'est pas seulement le contenu de l'enseignement qui influence l'apprentissage de l'élève, mais également la façon dont le professeur enseigne et les modèles implicites de sa discipline qu'il véhicule à travers son enseignement. Or, les stratégies pédagogiques adoptées par les enseignants reflètent généralement une vision empirico-inductiviste de la science passablement éloignée de l'image contemporaine de la science (Claxton, 1991; Larochelle et Desautels, 1992; Linder, 1992; Ruggieri, Tarsitani et Vicentini, 1993). Cette vision empiriste considère que les modèles scientifiques ou les concepts théoriques se dégagent peu à peu des faits qui sont eux-mêmes révélés à l'observation sans aucun présupposé. La méthode scientifique apparaît alors comme une procédure uniforme qui permettrait d'induire des lois et des théories à partir de l'observation rigoureuse des faits. Une telle vision néglige considérablement le caractère constructif de la science, c'est-à-dire l'élaboration progressive des modèles théoriques. De plus, elle minimise le rôle des théories et, ce faisant, elle donne à l'observation un statut illusoire, en masquant son caractère social et construit. Comme le font remarquer Fourez et Lambert (1989), on oublie souvent qu'«une expérimentation ou l'expression d'une loi met en œuvre toute une vision théorique déjà acceptée» (p. 80) et qu'une multiplicité de modèles ou de théories peuvent rendre compte de «faits» sur lesquels des chercheurs se sont mis d'accord. Les théories et les modèles que propose la science ont une valeur relative et non absolue. Ce sont des outils qui ont pour objectif de fournir des représentations susceptibles de guider l'action. Ils ne sont pas découverts, mais construits; leur intérêt réside précisément dans les possibilités d'actions qu'ils suggèrent et les expériences nouvelles qu'ils suscitent (Fourez, 1992).

Dans une telle perspective, le rôle de l'expérimentation ne se réduit pas à démontrer, mais à mettre en opération des modèles pour en éprouver les limites. Pourtant, la démarche scientifique, telle qu'elle se présente à l'élève au cours des activités de laboratoire, se réduit souvent à un exercice superficiel qui consiste à appliquer, de façon linéaire, une série d'étapes prédéterminées. Ces activités sont rarement organisées dans le sens d'une véritable démarche de résolution de problèmes. Par conséquent, les élèves se soucient davantage du résultat à obtenir que du processus qui y conduit. Ceci contribue à engendrer une confusion entre le protocole de présentation d'une démarche de recherche et le processus de réalisation de la recherche elle-même (Bybee, Powell et Ellis, 1991).

— Les valeurs socioculturelles de l'activité scientifique

Quelles sont les valeurs socioculturelles de l'activité scientifique? Dans quelle mesure sont-elles respectées et transmises dans le contexte de l'éducation scientifique? L'enseignement des sciences n'est pas exempt d'une certaine idéologie «scientiste». Celle-ci transparaît à différents niveaux: dans les exemples choisis et dans les quelques éléments d'histoire parfois introduits dans les manuels (Fourez, 1985; Hodson, 1988), dans certaines représentations que l'on donne de la méthode scientifique ainsi que dans les attitudes et dans les stratégies qu'adoptent les enseignants (Claxton, 1991; Gallagher, 1991; Larochelle et Desautels, 1991; Linder, 1992), dans la nature même du langage scientifique et dans le type de dialogue qui s'établit entre l'enseignant et l'élève, dans les cours de science (Lemke, 1990). Fourez (1985) souligne notamment l'idée selon laquelle l'évolution des sciences amène nécessairement un progrès. Une telle idéologie réduit la notion de progrès à une seule dimension et établit une hiérarchie entre le savoir de l'expert et les autres types de savoirs, voilant ainsi les critères utilisés dans la construction du savoir scientifique. Il observe également la tendance à présenter les sciences comme neutres et purement basées sur des faits observés indépendamment de tout projet particulier. Cette insistance, que l'on trouve souvent dans l'enseignement, sur l'aspect désintéressé de la science en opposition à son aspect utilitaire risque de conduire à une séparation artificielle entre science, technologie et société. Il faut comprendre que les critères qui président au choix des concepts, des modèles ou des théories, ne relèvent pas d'une «logique du nécessaire ou d'une rationalité universelle» (Fourez et Lambert, 1989, p. 80), mais de décisions liées à un contexte social, historique et quotidien.

Ces aspects sociaux de la science et de la technologie, en tant que principes organisateurs de l'activité scientifique, sont généralement très peu abordés dans les programmes d'études et dans les manuels scolaires, notamment parce qu'ils nécessiteraient des changements assez radicaux dans le choix et dans l'organisation mêmes des contenus traditionnellement enseignés (Rosenthal, 1989; Hodson, 1992). Par ailleurs, plusieurs chercheurs (Bybee *et al.*, 1991; Hodson, 1985; King, 1991; Solomon, 1991) soulignent le manque de connaissances des enseignants quant à la nature et à l'histoire de la science et de la technologie, et le peu d'importance qu'ils accordent aux dimensions philosophique, éthique, sociale et historique de l'évolution des sciences. Ceci a certes une influence sur les représentations très partielles, si ce n'est inadéquates, que les élèves se font de la science et des processus de construction du savoir (Desautels et Larochelle, 1989; Gallagher, 1991; Ryan et Aikenhead, 1992).

— Conséquences pour l'enseignement

Ces considérations d'ordre épistémologique, philosophique et même éthique ne sont pas sans incidence sur la conception des programmes de formation des maîtres. Parce que l'enseignant fournit, à travers son enseignement, une image ou une philosophie implicite de la science, il ne doit pas seulement être apte à énoncer les «vérités»

acceptées dans un domaine. Il doit comprendre les idées majeures de sa discipline, le contexte historique dont elles sont issues ainsi que les processus par lesquels elles se sont développées (Shulman, 1986). Une méconnaissance des aspects culturels et historiques de la science peut en effet conduire à minimiser la dimension humaine de la démarche scientifique et à sous-estimer ou à interpréter de façon inadéquate les aspects philosophiques, historiques et socioculturels de la science ainsi que l'impact des développements scientifiques et technologiques sur les prises de décision et inversement. Martin, Kass et Brouwer (1990) soulignent les nombreuses facettes de la science ainsi que la richesse et la diversité des perspectives épistémologiques. Dans un tel contexte, une vision trop étroite de la science risque de conduire à un certain dogmatisme qui irait justement à l'encontre du développement d'une pensée critique (Ray, 1991).

Par conséquent, si l'on juge important de donner aux élèves une image plus complète de l'activité scientifique et du contexte social et historique dans lequel elle se produit, il faudra sans doute définir plus clairement les connaissances de base que devraient posséder les futurs enseignants pour répondre à ces objectifs. Ne devrait-on pas accorder plus d'importance à l'histoire et à la philosophie des sciences dans les programmes de formation à l'enseignement des sciences? Ne serait-il pas pertinent d'inclure, dans les programmes de sciences du secondaire, l'histoire des sciences et de la technologie, l'étude de la nature même de la connaissance scientifique et de sa gestation ainsi que les grandes figures et institutions qui ont fait la science? Sans doute faudra-t-il alors axer la formation des futurs enseignants moins sur un ensemble de connaissances spécifiques à une discipline que sur le développement d'une culture scientifique et épistémologique plus large. Ceci laisse croire que les connaissances disciplinaires pertinentes à une éducation scientifique de base ne sont pas tout à fait les mêmes que celles dont ont besoin les spécialistes qui œuvrent dans une discipline.

Problèmes reliés à l'écart entre les savoirs scolaires et les savoirs savants

Un aspect d'ordre à la fois socioculturel et didactique relié à l'enseignement des sciences concerne le contexte de diffusion du savoir scientifique ainsi que le passage du contenu culturel de la science au contenu de l'enseignement, du savoir savant au savoir scolaire. Comment s'effectue un tel passage? Quelles sont les transformations ou les déformations qui en résultent et quel en est l'impact sur le processus d'apprentissage de l'élève?

— Les contextes de production et de diffusion des savoirs

La production du savoir scientifique se situe dans un certain contexte socioculturel et politique. Elle obéit à une fonctionnalité qui lui est propre et elle est soumise à des contraintes particulières. Or, le contexte scolaire dans lequel s'effectue la transmission du savoir scientifique diffère considérablement du contexte dans

lequel ce savoir se construit. Les conditions de diffusion d'un savoir ne sont effectivement pas les mêmes que celles qui président à sa production. Il faut comprendre que la science qui se fait est de moins en moins l'œuvre d'individus isolés mais le produit d'une coopération et d'une coordination d'expertises qui se complètent. Ce caractère éminemment social de la science s'oppose au caractère très individuel de l'acquisition de connaissances scientifiques dans le contexte scolaire habituel. À l'école, les élèves ont effectivement peu d'occasions de mettre en commun leurs connaissances, leurs points de vue, leurs perspectives, dans des situations réelles de résolution de problèmes. Le schéma traditionnel de transmission de connaissances de celui qui sait à celui qui ignore prédomine encore et peu d'attention est portée aux processus de communication en jeu dans la pratique scientifique. Ceci constitue une première source de décalage entre la science qui se fait et la science que l'on enseigne. Si l'objectif de l'enseignement n'est pas seulement de transmettre des contenus aux élèves mais, à travers eux, de les initier à la démarche scientifique elle-même, il faudra certainement prendre davantage en considération la dimension d'interaction sociale inhérente aux processus d'élaboration de nouveaux savoirs, notamment en favorisant l'apprentissage coopératif, l'échange d'idées, la confrontation de points de vue (Adams et Hamm, 1990; Champagne, 1992).

— Le passage des savoirs savants aux savoirs scolaires

Le savoir enseigné n'est jamais un simple calque du savoir savant, car ce dernier ne peut être présenté ni totalement ni tel quel. Il doit nécessairement être filtré, modifié en fonction des objectifs de formation propres à l'enseignement et d'une utilisation différente de celle qui caractérise son contexte de production. Ce passage s'effectue à travers divers «filtres organisationnels» qui effectuent un tri et remodèlent les savoirs (Jonnaert, 1988). Il fait notamment intervenir des négociations politiques entre groupes d'intérêts variés, y compris la communauté scientifique, qui contribuent à façonner le savoir scolaire (Gaskell, 1992). Aussi, la distance est souvent importante entre le «savoir savant», ou le savoir de référence, et le «savoir scolaire», c'est-à-dire le savoir diffusé dans la classe. Ce passage du savoir savant au savoir objet d'enseignement puis au savoir enseigné, Chevallard et Joshua (1982) l'appellent la «transposition didactique». Si cette dernière vise à faciliter l'appropriation de connaissances par l'élève, elle contribue par ailleurs à créer un écart et parfois même certaines contradictions entre les deux types de savoir. Elle transforme la nature de ce savoir en déplaçant les questions qu'il permet de résoudre et en modifiant le réseau relationnel qu'il entretient avec les autres concepts. Parfois, elle conduit même à une «dépersonnalisation» et une «déshistorisation» des concepts (Astolfi et Develay, 1989). Il convient donc de préciser les buts et les fonctions de la connaissance scientifique qui sont propres à l'enseignement puisqu'un même savoir peut obéir à des finalités très différentes selon les contextes dans lesquels il intervient et les objectifs qui s'y rattachent. Sous quel format et en fonction de quel type d'utilisation les connaissances produites par la science peuvent-elles ou doivent-elles être diffusées dans l'enseignement?

— Le passage du contexte scolaire au contexte extrascolaire

L'un des objectifs de l'enseignement des sciences est d'amener les élèves à appliquer, à des contextes autres que scolaires, les connaissances scientifiques acquises à l'école. Mais dans quelle mesure y a-t-il transfert du savoir scolaire au domaine extrascolaire? Plusieurs chercheurs (Brown, Collins et Duguid, 1989; Claxton, 1991; Perkins et Salomon, 1989) constatent que l'écart important entre les cultures scolaires et extrascolaires rend particulièrement difficile le transfert des connaissances d'un contexte à un autre. Ainsi, nombreux sont les élèves qui éprouvent de la difficulté à utiliser les connaissances scientifiques acquises à l'école dans des contextes autres que le contexte formel dans lequel elles ont été acquises. Il en est de même en mathématiques où l'on constate une discontinuité entre les mathématiques telles qu'elles sont enseignées et utilisées à l'école et l'utilisation de connaissances mathématiques dans divers contextes de la vie quotidienne (Greeno, 1992; Jacobsen, 1991; Resnick, 1987). Ce manque de transfert révèle le caractère inerte, c'est-à-dire non fonctionnel, et décontextualisé des savoirs scolaires. D'autres recherches (Lave, 1988; Scribner, 1986) font, par ailleurs, état des nombreuses compétences logiques et mathématiques auxquelles ont recours les individus pour résoudre des problèmes dans leur vie quotidienne, alors que ces mêmes individus peuvent s'avérer très peu performants dans le contexte scolaire. Ainsi, non seulement les savoirs scolaires contribuent assez peu à la résolution de problèmes ou à l'acquisition de connaissances nouvelles à l'extérieur de l'école, mais encore, les connaissances spontanément acquises en dehors de l'école sont peu sollicitées pour supporter l'apprentissage scolaire.

— Conséquences pour l'enseignement

Cette problématique du passage ou du transfert des connaissances d'un contexte à un autre soulève des questions didactiques fondamentales. En effet, le but de la didactique n'est pas seulement de rendre les connaissances accessibles à l'apprenant, mais également de les rendre signifiantes, utilisables et transférables à d'autres contextes que celui dans lequel elles sont transmises. Par conséquent, si le savoir scientifique, pour devenir objet d'enseignement, doit être décontextualisé, c'est-à-dire dissocié de son contexte de production, il doit par ailleurs être recontextualisé, c'est-à-dire inséré dans un nouveau contexte qui présente ses contraintes et ses caractéristiques propres. Les connaissances acquises à l'école doivent permettre aux élèves de donner un sens nouveau à des réalités quotidiennes. Elles doivent contribuer à modifier, à enrichir, à systématiser les savoirs d'expérience. C'est ainsi que se développe depuis quelques années tout un courant de recherche sur la contextualisation des apprentissages. L'apprentissage est envisagé comme un processus d'acculturation progressive (*cognitive apprenticeship)* où l'acquisition de connaissances consiste à maîtriser graduellement des outils (connaissances et habiletés) que l'on ne peut dissocier du contexte, tant social et culturel que physique, dans lequel ils sont utilisés (Champagne et Bunce, 1991; Collins, Brown et Newman, 1989; Glaser, 1992).

Problèmes reliés aux difficultés d'apprentissage en sciences

Un aspect central de l'enseignement des sciences concerne le processus d'apprentissage de l'élève et, plus particulièrement, les nombreuses difficultés reliées à l'acquisition de connaissances scientifiques. Quelle relation y a-t-il entre la nature des connaissances visées par l'enseignement et la façon dont elles s'acquièrent? Quel lien peut-on établir entre l'acquisition de connaissances par l'élève et l'élaboration du savoir scientifique? Quels sont les stratégies pédagogiques et les outils d'intervention susceptibles de faciliter l'apprentissage?

Un grand nombre de recherches (Gunstone et White, 1981; Halloun et Hestenes, 1987; Lochhead, 1988; McDermott, 1984; Viennot, 1979) ont mis en évidence les nombreux obstacles que rencontrent les élèves dans la compréhension de concepts ou de notions pourtant jugés élémentaires. Dans les domaines de la physique ou la chimie, par exemple, on constate que même les élèves qui parviennent à bien réussir à l'intérieur des limites des tests et des exercices scolaires n'ont pas nécessairement acquis une compréhension adéquate des principes qui leur sont enseignés. Ils ont de la difficulté à interpréter un problème ou à évaluer la pertinence d'une procédure ou d'une solution. Dans le langage de la psychologie cognitive, on pourrait dire qu'ils n'ont pas développé les connaissances conditionnelles qui leur permettraient de savoir quand, comment et pourquoi utiliser tel élément de connaissance plutôt que tel autre. La connaissance de certains principes ou de certaines opérations ne suffit donc pas à en garantir une utilisation appropriée. Ces difficultés que rencontrent les élèves dans l'apprentissage des concepts, des principes et des méthodes de la science relèvent de divers facteurs.

— La nature du vocabulaire scientifique

L'apprentissage des sciences à l'école requiert que l'élève mémorise un grand nombre de concepts et de principes dont les significations ne lui sont généralement pas évidentes. La nature même du vocabulaire scientifique pose des exigences particulières pour la mémoire. Walker (1989) constate que son caractère ésotérique constitue un obstacle majeur et persistant à la compréhension des élèves. Les travaux en psychologie cognitive ont permis d'établir une distinction entre la mémoire sémantique, qui est de nature conceptuelle, et la mémoire lexicale qui correspond à la mémoire de la morphologie des mots. Selon Lieury (1992), «la difficulté des mots scientifiques provient de leur complexité à la fois lexicale (scalène, hermaphrodite) et sémantique ("invariant" est souvent confondu avec "inégal" et "évolution" avec "montée")» (p.173). L'élève peut en effet mémoriser des termes scientifiques, c'est-à-dire qu'il peut posséder une connaissance phonétique, sans nécessairement développer une compréhension conceptuelle ou une connaissance sémantique adéquate (Meyerson, Ford, Jones et Ward, 1991; Stepans, 1991). Par ailleurs, un même terme peut renvoyer à des significations très différentes dans le langage courant et dans le langage scientifique. Cette polysémie constitue une source de difficulté, notamment en physique (Viennot,

1979). Mémoriser, ce n'est donc pas simplement reproduire par cœur, c'est surtout comprendre, c'est-à-dire faire des inférences et générer des réponses à de nouvelles questions. Pour cela, il importe d'organiser correctement les concepts en mémoire sémantique et plus cette mémoire est riche en informations, plus il est facile d'y intégrer de nouvelles informations. Ainsi, pour favoriser la compréhension des termes scientifiques, il faut d'abord s'assurer que les élèves possèdent un répertoire de connaissances suffisant pour en permettre l'assimilation puis les aider à relier divers concepts entre eux et à les hiérarchiser. L'utilisation de cartes ou de réseaux conceptuels, le recours à des analogies ou à des métaphores s'avèrent, à cet égard, des outils pédagogiques et didactiques intéressants (Clement, 1988; Dupin et Joshua, 1989; Duit, 1991*a*; Glynn, 1991; Krajcik, 1991; Novak et Gowin, 1984).

— Le formalisme de la science

Une autre source de difficulté réside dans le caractère formel et abstrait des connaissances scientifiques et dans le rôle central qu'y joue la modélisation mathématique. Plusieurs recherches ont porté sur l'étude de la maîtrise par les étudiants des schèmes opératoires formels jugés indispensables à la compréhension des concepts, des principes et des méthodes de la science (Lawson, 1985; Lawson et Thompson, 1988; Padilla, Okey et Dillashaw, 1983; Padilla, 1991). Leurs conclusions indiquent qu'un bon nombre d'élèves n'utilisent pas les outils intellectuels et les processus d'abstraction nécessaires à l'apprentissage des sciences. Doit-on rendre la science moins abstraite, plus accessible à l'apprenant? Faut-il privilégier des méthodes d'enseignement des sciences plus concrètes, plus descriptives? Certains ont tenté de concevoir des programmes susceptibles de favoriser le développement de la pensée critique et des outils logicomathématiques propres à la pensée formelle. Mais dans quelle mesure ces habiletés peuvent-elles être acquises indépendamment des contenus sur lesquels elles portent (Glaser, 1987; Swartz et Perkins, 1989)? N'est-ce pas précisément à travers l'enseignement des mathématiques et des sciences que l'on peut favoriser le développement du raisonnement logique et des capacités d'abstraction propres à la pensée opératoire formelle, telle que Piaget l'a décrite? Le fait toutefois d'insister sur la quantification précise des résultats plutôt que sur le raisonnement qualitatif qui les sous-tend n'est pas sans nuire au développement du raisonnement logique. L'élève apprend alors à appliquer des formules et à effectuer des calculs, mais il développe peu les habiletés de raisonnement qui permettent de catégoriser les problèmes et de réduire l'éventail des opérations possibles (Halpern, 1992). Piaget (1972) a d'ailleurs fortement critiqué l'introduction prématurée en science de la quantification métrique au détriment des processus de raisonnement plus qualitatifs.

— L'impact des représentations intuitives sur l'apprentissage

Toutefois, ce n'est pas seulement le caractère formel ou abstrait des concepts enseignés qui les rend difficiles d'accès mais, peut-être encore davantage, l'absence

de correspondance entre formalisme et intuition. En effet, une part importante des difficultés associées à l'apprentissage de la science est liée aux savoirs spontanément mis en œuvre par l'apprenant en rapport avec les divers contenus qui lui sont enseignés. Ces savoirs spontanés, qui sont souvent en conflit ou en contradiction avec les modèles enseignés, ont fait l'objet de nombreuses recherches au cours des vingt dernières années, en particulier dans les disciplines telles que la physique, la chimie, la biologie (Abimbola, 1988; Bednarz et Garnier, 1989; Clement, Brown et Zietsman, 1989; diSessa, 1988; Driver, Guesne et Tiberghien, 1985; Driver, 1988; Driver, 1989; Duit, 1991*b*; Giordan et De Vecchi, 1987; Giordan, 1991; Gunstone, 1988). On constate que ces représentations sont très peu modifiées par l'enseignement. Elles conduisent parfois à une déformation des notions enseignées ou, encore, il arrive que ces deux types de représentations, bien qu'elles soient conflictuelles, puissent coexister dans l'esprit de l'élève sans même qu'il soit conscient de la contradiction. Dans le contexte de la vie quotidienne, ces représentations prennent généralement le dessus sur les connaissances enseignées à l'école. L'élève a donc de la difficulté à s'approprier le savoir scientifique qui lui est enseigné à l'école faute de pouvoir lui donner un sens à partir de ses connaissances antérieures ou de ses conceptions spontanées.

Cet intérêt à l'égard des savoirs préalables des élèves est lié à une approche constructiviste de la connaissance qui considère l'apprentissage comme un processus actif et sélectif ne consistant pas simplement à accumuler les informations transmises par l'enseignant, mais à les traiter et à les modifier à partir des connaissances déjà acquises (Giordan, 1991; Glynn, Yeany et Britton, 1991; Grayson, 1991; Gunstone et Champagne, 1990; Pines et West, 1986; Smith, 1991; West, 1988; Wheatley, 1991). Pour s'approprier la signification des concepts scientifiques, l'élève doit la reconstruire progressivement à partir de ses connaissances et représentations premières. Tout apprentissage dépend ainsi des conceptions mobilisées par l'apprenant pour interpréter les informations. Il ne consiste pas simplement à ajouter des connaissances nouvelles aux connaissances antérieures, mais implique un changement de conceptions.

— Conséquences pour l'enseignement

Dans cette perspective, l'enseignement des sciences ne saurait se réduire à fournir des modèles déjà tout élaborés ou à substituer, aux représentations jugées inappropriées, des élèves, des représentations scientifiques. Il consiste plutôt à favoriser un processus de changement conceptuel, c'est-à-dire à trouver des stratégies appropriées pour faire évoluer les représentations intuitives des élèves. Un tel processus peut nécessiter le passage par des représentations ou par modèles transitoires qui, tout en s'avérant pédagogiquement valables, peuvent apparaître scientifiquement très «approximatifs». Par ailleurs, il nécessite une compréhension des mécanismes par lesquels ces représentations évoluent. Or, ces mécanismes présentent une parenté avec les processus en jeu dans l'élaboration du savoir scientifique (Piaget et Garcia, 1983; Sequeria et Leite, 1991; Wandersee, 1985). En particulier, la connaissance des «obstacles épistémologiques» rencontrés dans l'histoire des disciplines peut aider à compren-

dre les types de difficultés que les élèves doivent surmonter pour s'approprier certains concepts.

Cette vision de l'apprentissage et de l'enseignement modifie aussi l'image du rôle de l'enseignant et elle soulève nombre de questions. Quels sont les outils susceptibles d'aider l'enseignant à diagnostiquer les représentations spontanées des élèves? Comment caractériser ces représentations en regard des connaissances visées? Constituent-elles des obstacles ou au contraire des points d'ancrage pouvant faciliter l'apprentissage? Comment exploiter ces représentations, dans un contexte d'enseignement, de manière à favoriser leur modification? Quels sont les critères qui permettent de juger de la validité relative d'une représentation et comment évaluer le degré d'«appropriation» d'une connaissance par l'élève puisque celle-ci n'est jamais affaire de tout ou de rien? Pour être en mesure d'apporter des éléments de réponses à ces questions, une connaissance de la discipline ainsi que des processus généraux d'apprentissage ne saurait suffire. Il faut développer une connaissance pédagogique de la matière (Grossman, Wilson et Shulman, 1989; Shulman, 1986), c'est-à-dire une connaissance de la matière en vue de son enseignement. Celle-ci fait appel à une variété de compétences, aussi bien disciplinaires que pédagogiques et didactiques, pour ne pas dire épistémologiques.

— La motivation scolaire

Enfin, une autre dimension importante, reliée à l'apprentissage des sciences, concerne la motivation scolaire et, plus spécifiquement, les réactions émotionnelles et les attitudes des élèves face aux disciplines scientifiques. L'anxiété générée par l'apprentissage des mathématiques et des sciences est bien connue et elle a fait l'objet de plusieurs recherches. L'intérêt et la motivation à l'égard des sciences ne dépendent pas seulement de la façon plus ou moins attrayante d'enseigner ces connaissances. Elle est également reliée, d'une part, à l'image que les élèves se font de la science et de l'apprentissage des mathématiques et des sciences et, d'autre part, à l'image que les élèves se font d'eux-mêmes en tant qu'apprenants.

Nombreux sont les élèves qui ont tendance à surestimer les difficultés reliées à l'apprentissage des disciplines scientifiques et à se croire, à tort, dépourvus des capacités intellectuelles requises pour effectuer cet apprentissage. Cette vision élitiste les amène à considérer que la science n'est pas accessible à tous et qu'il faut disposer d'aptitudes particulières qu'ils n'ont pas. Par ailleurs, les nombreux échecs scolaires que subissent plusieurs élèves en mathématiques et en sciences contribuent largement à engendrer un sentiment d'impuissance, source d'anxiété face à l'apprentissage en général. Les attitudes défaitistes qu'adoptent plusieurs élèves, à l'égard de l'apprentissage des sciences, ne seraient-elles pas un sous-produit de ces échecs?

Bien des recherches (Blouin, 1985; Blouin, 1988; Covington, 1985; Dweck, 1989; Schunk, 1984; Weiner, 1984) ont montré que les perceptions d'insuccès qu'ont

les élèves et les causes auxquelles ils attribuent leurs succès ou leurs échecs ont un impact important sur leurs stratégies personnelles d'apprentissage. Les échecs en mathématiques et en sciences ne sont donc pas attribuables uniquement au caractère formel de la science ou aux représentations préalables qui interfèrent avec cet apprentissage. Ils ne dépendent pas non plus seulement de l'inefficacité de certaines méthodes d'enseignement. Ils résultent également d'un manque d'intérêt, qui apparaît lui-même comme un sous-produit des sentiments d'échecs souvent générés par la confrontation à ces disciplines. S'il existe des difficultés inhérentes à l'apprentissage des sciences, comme il existe d'ailleurs des difficultés inhérentes à l'apprentissage de n'importe quelle autre matière, ce ne sont pas nécessairement celles que perçoivent les élèves. L'image que ces derniers se font de leurs propres capacités d'apprentissage et des difficultés inhérentes aux sciences est souvent inexacte. C'est pourquoi Lemke (1990) insiste sur l'importance de combattre, dans l'enseignement, une certaine mystification de la science qui a pour effet de miner la confiance que les élèves ont de leurs propres capacités et de leurs propres jugements.

Problèmes reliés au rôle de l'école et aux programmes scolaires

Nous abordons maintenant quelques préoccupations relatives au rôle de l'école et à la pertinence des programmes scolaires en regard des objectifs poursuivis par le secondaire. Comment l'école contribue-t-elle à l'éducation scientifique? Quels sont les objectifs qui doivent présider au choix des contenus curriculaires? Comment organiser les programmes d'études pour répondre à ces objectifs?

— Le rôle de l'école

L'enseignement des sciences s'inscrit dans le contexte plus large d'une éducation scientifique qui ne relève pas seulement de l'école. D'autres lieux éducatifs, tels les musées, les associations diverses et de nombreuses ressources, comme les journaux, la télévision, les revues de vulgarisation scientifique, contribuent à éveiller la curiosité, à susciter l'intérêt à l'égard de la science, à développer l'esprit critique, à promouvoir la culture scientifique. Ces «écoles parallèles», quoiqu'elles soient inégalement présentes et ouvertes aux divers milieux, offrent néanmoins aux jeunes de nombreuses possibilités d'apprentissage et modifient le rôle traditionnel de l'école comme lieu privilégié d'apprentissage (Conseil supérieur de l'éducation, 1990*a*). L'école ne peut ni ignorer, ni concurrencer ces autres lieux. Elle ne peut faire abstraction des nombreux acquis réalisés par les élèves dans le contexte d'expériences et d'initiatives extrascolaires. Il lui faut donc prendre en considération les nombreuses sources d'information auxquelles ont accès les élèves de tous les ordres d'enseignement et effectuer des choix judicieux (Conseil supérieur de l'éducation, 1990*b*). L'école doit donc établir un nouveau mode de rapport avec le savoir et doit définir son rôle spécifique par rapport à celui des autres institutions. Quelles sont les connaissances de base à faire acquérir

aux élèves? Comment tenir compte de leurs acquis? Quelle importance doit-on accorder à tel ou tel aspect de la science? À l'intérieur même des programmes d'enseignement général, quelle devrait être l'importance relative des divers domaines de la science? Ces questions sont d'ordre à la fois socioculturel, pédagogique et didactique.

Le choix de ce qui doit être enseigné, c'est-à-dire des savoirs à privilégier, dépend beaucoup des buts poursuivis prioritairement. Il peut s'agir de faire acquérir les connaissances de base nécessaires à l'exercice d'une future profession, de promouvoir la culture scientifique, d'initier à la démarche scientifique, d'amener l'individu à gérer ses connaissances, d'enrichir le raisonnement intellectuel. Comme le souligne Giordan (1989), les raisons d'enseigner les sciences et les techniques peuvent être multiples: intérêts d'ordre professionnel, sociopolitique, pratique, opératoire, métacognitif, éthique, épistémologique, ludique. On ne peut évidemment pas tout enseigner, il faut nécessairement faire des choix. Or, les critères qui président à ces choix sont reliés aux finalités même de l'éducation scientifique. Un enjeu éducatif fondamental au secondaire est celui de l'intégration des savoirs, c'est-à-dire de l'établissement de liens entre les matières scolaires, entre les divers apprentissages scolaires ainsi qu'entre les apprentissages scolaires et la réalité extrascolaire (Conseil supérieur de l'éducation, 1991). L'enseignement des sciences, au secondaire devrait donc favoriser le développement d'un savoir significatif (en relation avec les connaissances antérieures de l'élève), structuré (organisé de façon cohérente) et transférable (applicable à des contextes autres que celui de l'école). Cet objectif conduit à privilégier le développement d'habiletés et d'attitudes fondamentales plutôt que l'acquisition d'un grand nombre de contenus. Il renvoie également à la tâche éducative de favoriser le développement intellectuel de l'élève. Mais, dans quelle mesure les programmes actuels, tant par leurs contenus et leur structure que par l'approche pédagogique qui y est préconisée, répondent-ils de façon adéquate à ces objectifs de formation générale poursuivis par le secondaire?

— Les contenus et la structure des programmes scolaires

Un premier problème se rattache aux contraintes du *curriculum*. Le temps scolaire n'ayant pas augmenté en proportion de l'élargissement et de la diversification des contenus, il y a eu tendance à surcharger les programmes. Ces contraintes relatives aux contenus ont conduit à mettre l'accent sur la mémorisation d'un grand nombre de définitions, de formules, d'algorithmes, par opposition à une approche davantage centrée sur la résolution de problèmes et sur le développement d'habiletés et d'attitudes. On a eu tendance à court-circuiter le processus d'apprentissage de l'élève en lui fournissant des réponses toutes faites sans se soucier des questions qu'il se pose et à assujettir l'enseignement à l'évaluation, c'est-à-dire à réduire les objectifs à ce qui peut être facilement évalué. Un second problème est relié à la structure des programmes. Ces derniers sont «découpés selon une logique disciplinaire parfois rigide et fermée» (Conseil supérieur de l'éducation, 1991) qui conduit à une fragmentation des contenus tant entre les disciplines qu'à l'intérieur même de

celles-ci et ne favorise pas l'intégration des savoirs ni les transferts interdisciplinaires des apprentissages. Par ailleurs, le caractère essentiellement compartimenté des programmes d'études en sciences s'accorde assez peu avec l'interdisciplinarité croissante dans l'approche scientifique des phénomènes. Alors que les frontières tendent à éclater dans la science qui se fait, la science scolaire demeure très cloisonnée et risque de conduire à ce que Papert (1981) appelle la «balkanisation des savoirs». Ne vaudrait-il pas mieux en couvrir un peu moins, mais de façon plus approfondie? Ne devrait-on pas sacrifier un peu d'exhaustivité à davantage de cohérence?

Un tel choix ne se réduit pas à effectuer de simples «coupures». Il requiert une nouvelle approche axée sur l'approfondissement d'un nombre plus restreint de concepts centraux et intégrateurs. C'est dans cet esprit que Giordan (1991) suggère d'organiser le savoir autour de concepts structurants et de recourir à des modèles didactiques simplifiés qui peuvent constituer des ponts entre les représentations spontanées de l'élève et les modèles scientifiques. Ainsi, modifier une approche pédagogique ne consiste pas simplement à substituer, à l'intérieur des programmes existants qui demeurent très prescriptifs, une technique d'enseignement à une autre jugée moins efficace. Peu importent les approches préconisées, couvrir un grand nombre de sujets sous une forme discrète et compartimentée, et sur une période de temps limitée, ne peut qu'inciter les élèves à mémoriser des termes scientifiques ou des algorithmes qui n'auront d'autre utilité que de résoudre les problèmes présentés dans le manuel ou de répondre aux questions de l'examen. Une approche plus intégrée de l'enseignement des sciences nécessitera sans doute des changements curriculaires importants, non seulement dans les contenus, mais dans la structure même des programmes d'études. Si l'on souhaite développer la compréhension conceptuelle, c'est-à-dire la formation de réseaux de concepts et leur élargissement progressif à partir de l'intégration de nouveaux concepts, les *curricula* devront être repensés en relation avec des objectifs plus généraux qui leur confèrent une cohérence.

— Conséquences pour l'enseignement

Un changement d'approche dans le sens d'une plus grande interdisciplinarité et d'une intégration accrue des savoirs ne peut se faire uniquement par la transformation des programmes. Il modifie également la tâche de l'enseignant et, par le fait même, son rapport avec le savoir enseigné. L'enseignant est appelé à jouer un double rôle à l'égard de sa discipline. Il doit se percevoir non seulement comme un spécialiste, mais également comme un généraliste qui aide l'élève à ancrer ses savoirs et à établir entre eux des liens significatifs (Conseil supérieur de l'éducation, 1991). Il lui faut donc saisir l'importance des représentations que les élèves ont développées préalablement à l'enseignement et considérer la nécessité de ne pas dissocier la connaissance scolaire de la connaissance personnelle. Ainsi, sa tâche ne se réduit pas à transmettre des connaissances, mais à organiser des situations d'apprentissage et à concevoir des stratégies d'intervention aptes à promouvoir le processus de développement conceptuel de l'apprenant. Elle s'apparente davantage à celle du bricoleur, capable

d'improvisation et de créativité dans des circonstances continuellement changeantes, qu'à celles du technicien ou de l'ingénieur qui applique rigoureusement une série de règles ou d'algorithmes pédagogiques (Huberman, 1993). La diversité des problèmes auxquels se trouve confronté le professionnel suppose en effet des ajustements continuels, qui nécessitent souplesse, flexibilité et capacité d'adaptation. D'où le besoin essentiel d'une réappropriation du *curriculum* et d'une plus grande prise en charge de la transposition didactique par l'enseignant.

Nous avons déjà mentionné la diversité de compétences de haut niveau que cela exige. Une telle expertise ne peut toutefois être atteinte uniquement dans le cadre de la formation initiale. La formation universitaire contribue certes au développement professionnel, mais elle ne le produit pas à elle seule. Le meilleur programme de formation ne pourra produire que des novices compétents, il ne produira jamais des experts compétents. Comme le dit très justement Perrenoud (1993), «la formation initiale ne saurait prétendre développer toutes les maîtrises requises d'un véritable professionnel». L'expertise professionnelle se développe dans et par la pratique. Cependant, celle-ci ne peut être source de changements d'autotransformation que dans la mesure où le professionnel débutant dispose de grilles de lectures adéquates, de modèles diversifiés, qui lui permettent de décoder les situations dans lesquelles il intervient et d'identifier la nature des problèmes auxquels il est confronté. C'est à ce titre que les connaissances disciplinaires, pédagogiques, didactiques et épistémologiques prennent tout leur sens. Elles visent essentiellement à fournir aux futurs enseignants les outils conceptuels qui leur permettront de capitaliser sur leurs expériences, de réfléchir sur leur pratique et d'apprendre à partir de celle-ci de manière à pouvoir éventuellement la réorienter. L'une des contributions majeures de la formation initiale est donc d'outiller le novice de façon à ce qu'il puisse tirer profit de ses expériences pour améliorer sa compétence. Il s'agit d'une formation essentiellement conçue sous le sceau de l'ouverture sur le développement professionnel. De ce fait, elle confère à l'exercice même de la profession un caractère formateur et ne le réduit pas à la simple mise en œuvre des compétences déjà acquises.

Conclusion

Depuis une vingtaine d'années, la problématique de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences a retenu tout particulièrement l'attention des chercheurs en éducation. La richesse des écrits dans ce domaine en témoigne. Plusieurs revues sont d'ailleurs entièrement consacrées à la problématique de l'éducation scientifique au sens large. Les recherches en rapport avec ce sujet sont si nombreuses et les questions abordées si diversifiées qu'il n'est certes pas possible d'en faire état de façon exhaustive.

Dans cet article, nous avons cherché à identifier quelques-uns des problèmes qui ont été largement traités tant aux États-Unis et en Europe qu'ici même. Nous avons tenté d'articuler ces problèmes de divers ordres autour de quelques grands

thèmes: la nature du savoir scientifique, l'écart entre les savoirs scolaires et les savoirs savants, les difficultés reliées à l'apprentissage des sciences, l'école et les programmes scolaires. Sans prétendre faire le tour de la question, nous avons voulu mettre en évidence diverses facettes d'une réalité complexe, celle de l'enseignement des sciences au secondaire. Les divers problèmes soulevés suscitent, tant pour le chercheur que pour le praticien, des pistes intéressantes à explorer. Ils révèlent également la complexité de la tâche de l'enseignant et les nombreuses exigences qui s'y rattachent. Celles-ci comportent des conséquences importantes quant aux types de compétences que l'enseignant doit développer. Dans la mesure où ces compétences peuvent constamment évoluer à travers l'exercice même de la profession, il nous a semblé pertinent de rappeler que la formation initiale, bien qu'elle soit déterminante, n'est qu'une étape d'un processus de développement professionnel continu.

Abstrat – Within a social context that values scientific and technological training as a tool for social adaptation and insertion into society, the numerous failures and difficulties in science learning present an important challenge for secondary level teachers and for teacher educators. This article attempts to describe, through a review of the literature, the various problems, being epistemological, didactic, pedagogical, or sociological that are related to both the learning and teaching of science. The author presents various practical implications regarding the problems described and suggests avenues to investigate.

Resumen – En un contexto social que valoriza la formación científica y tecnológica como instrumento de adaptación y de inserción social, los múltiples fracasos y dificultades encontrados por los alumnos en el aprendizaje de la ciencia ofrecen importantes desafíos a los maestros del secundario y a los responsables de su formación. Este artículo trata de abordar, a través de la literatura, los problemas de diversos órdenes, epistemológico, didáctico, pedagógico, sociocultural que trae consigo tanto el aprendizaje como la enseñanza de la ciencia. Presentaremos algunas implicaciones prácticas de los problemas abordados y sugeriremos pistas a explorar.

Zusammenfassung – In einem Gesellschaftskontext, der die wissenschaftliche und technologische Bildung als Mittel zur sozialen Anpassung und Eingliederung fördert, stellen die zahlreichen Misserfolge und Schwierigkeiten, welche die Schüler beim wissenschaftlichen Studium erleben, beträchtliche Forderungen an die Lehrkräfte an Höheren Schulen und an deren Ausbilder. Dieser Artikel versucht, mit Hilfe der Fachliteratur die Probleme verschiedener Art – epistemologisch, didaktisch, pädagogisch, soziokulturell – zu umschreiben, die sowohl das Erlernen wie das Unterrichten der Wissenschaften aufwerfen. Wir zeigen einige praktische Folgen der behandelten Probleme auf und schlagen mögliche Wege zu ihrer Lösung vor.

Références

Adams, D. et Hamm, M. E. (1990). *Cooperative learning: Critical thinking and collaboration across the curriculum.* Springfield, IL: Charles C. Thomas Publisher.

Abimbola, I. O. (1988). The problem of terminology in the study of student conceptions in science. *Science Education, 71*(2), 175-184.

Astolfi, J.-P. et Develay, M. (1989). *La didactique des sciences.* Paris: Presses universitaires de France.

Bednarz, N. et Garnier, C. (dir.) (1989). *Construction des savoirs: obstacles et conflits.* Montréal: Agence d'Arc.

Blouin, Y. (1985). *La réussite en mathématiques au collégial: le talent n'explique pas tout.* Document inédit, Collège François-Xavier Garneau, Québec.

Blouin, Y. (1988). *Réussir en sciences.* Document inédit, Collège François-Xavier Garneau, Québec.

Brown, J. S., Collins, A. et Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher, 17,* 32-42.

Bybee, R. W, Powell, J. C. et Ellis, J. D. (1991). Integrating the history and nature of science and technology in science and social studies curriculum. *Science Education, 75*(1), 143-155.

Champagne, A. B. (1992). Cognitive research on thinking in academic science and mathematics: Implications for practice and policy. *In* D. F. Halpern (éd.), *Enhacing thinking skills in the sciences and mathematics* (p. 117-135). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Champagne, A. B. et Bunce, D. M. (1991). Learning-theory-based science teaching. *In* S. M. Glynn, R. H. Yeany et B. K. Britton (éd.), *The psychology of learning science.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Chevallard, Y. et Joshua M.-A. (1982). Un exemple d'analyse de la transposition didactique: la notion de distance. *Recherches en didactique de la mathématique, 3*(3), 157-240.

Claxton, G. (1991). *Educating the inquiring mind: The challenge for school science.* Londres: Harvester Wheatsheaf.

Clement, J. (1988). Observed methods for generating analogies in scientific problem solving. *Instructional Science, 4*(12), 563-586.

Clement, J., Brown, D. E. et Zietsman, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: Finding "anchoring conceptions" for grounding instruction on students' intuitions. *International Journal of Science Education, 11*(5), 554-565.

Collins, A., Brown, J. S. et Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing and mathematics. *In* L. B. Resnick (éd.), *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (p. 453-494). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Conseil supérieur de l'éducation (1990*a*). *Développer une compétence éthique pour aujourd'hui: une tâche éducative essentielle.* Rapport annuel 1989-1990 sur l'état et les besoins de l'éducation. Québec: Conseil supérieur de l'éducation.

Conseil supérieur de l'éducation (1990*b*). *L'initiation aux sciences de la nature chez les enfants du primaire.* Avis au ministre de l'Éducation et à la ministre de l'Enseignement supérieur et de la Science. Québec: Conseil supérieur de l'éducation.

Conseil supérieur de l'éducation (1991). *L'intégration des savoirs au secondaire: au cœur de la réussite éducative.* Avis au ministre de l'Éducation et à la ministre de l'Enseignement supérieur et de la Science. Québec: Conseil supérieur de l'éducation.

Covington, M. V. (1985). Anatomy of failure-induced anxiety: The role of cognitive mediators. *In* R. Schwarzer (éd.), *Self-related cognitions in anxiety and motivation* (p. 247-263). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

De Boer, G. (1991). *A history of ideas in science education: Implications for practice.* New York, NJ: Teachers College Press et Londres: Columbia University.

Desautels, J. (1980). *École + science = Échec.* Québec: Presses de l'Université du Québec.

Desautels, J. et Larochelle, M. (1989). *Qu'est-ce que le savoir scientifique? Points de vue d'adolescents et d'adolescentes.* Québec: Les Presses de l'Université Laval.

diSessa, A. (1988). Knowledge in pieces. *In* G. Forman et P. B. Pufall (éd.), *Constructivism in the computer age* (p. 49-70). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Driver, R. (1988). A constructivist approach to curriculum development. *In* P. J. Fensham (éd.), *Development and dilemmas in science education* (p. 133-150). Philadelphia, PA: The Falmer Press.

Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education 1*(5), 481-490.

Driver, R., Guesne, E. et Tiberghien, A. (1985). *Children's ideas in science.* Buckingham: Open University Press.

Duit, R. (1991*a*). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education 75*(11), 649-672.

Duit, R. (1991*b*). Student's conceptual frameworks: Consequences for learning science. *In* S. M. Glynn, R. H. Yeany et B. K. Britton (éd.), *The psychology of learning science.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Dupin, J. J. et Joshua, S. (1989). Analogies and "Modeling Analogies" in teaching: Some examples in basic electricity. *Science Education 7*(2), 207-225.

Dweck, C. S. (1989). Motivation. *In* A. Lesgold et R. Glaser (éd.), *Foundation for a psychology of education* (p. 87-137). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Fensham, P. J. (1988). Familiar but different: Some dilemmas an new directions in science education. *In* P. Fensham (éd.), *Development and dilemmas in science education,* (p. 1-27). Philadelphia, PA: The Falmer Press.

Fourez, G. (1985). *Pour une éthique de l'enseignement des sciences.* Belgique: Éditions Vie ouvrière.

Fourez, G. (1989). Introduction: enseigner les mathématiques et les sciences en l'an 2 000. *In* G. Fourez (dir.), *Enseigner les sciences en l'an 2 000.* Symposium international, enseignement des mathématiques et des sciences, technologies, éthiques et sociétés. Presses universitaires de Namur.

Fourez, G. (1992). *La construction des sciences. Les logiques des inventions scientifiques. Introduction à la philosophie et à l'éthique des sciences* (2e éd.). Science, éthique et société, Bruxelles: DeBœck-Wesmael (1re éd., 1988).

Fourez, G. et Lambert, D. (1989). À chacun ses modèles théoriques. *In* G. Fourez (dir.), *Enseigner les sciences en l'an 2 000.* Symposium international, enseignement des mathématiques et des sciences, technologies, éthiques et sociétés. Presses universitaires de Namur.

Gago, J. M. (1991). L'avenir de l'enseignement scientifique général. *Impact: science et société, 41*(4), 307-313.

Gallagher, J. J. (1991). Prospective and practicing secondary school science teachers' Knowledge and beliefs about the philosophy of science. *Science Education 75*(1), 121-133.

Gaskell, P. J. (1992). Authentic science and school science. *International Journal of Science Education, 14*(3), 265-272.

Giordan, A. (1989). Culture scientifique et technologique, régulation de la démocratie et vie quotidienne. *In* G. Fourez (dir.), *Enseigner les sciences en l'an 2 000.* Symposium international, enseignement des mathématiques et des sciences, technologies, éthiques et sociétés. Presses universitaires de Namur.

Giordan, A. (1991). La modélisation dans l'enseignement et la vulgarisation des sciences. *Impact: science et société, 41*(4), 337-355.

Giordan, A. et De Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir.* Neuchâtel et Paris: Delachaux et Niestlé.

Glaser, R. (1987). Learning theory and theories of knowledge. *In* De Corte *et al.* (éd.), *Learning and instruction* (vol. 1) (p. 397-141). Oxford: Leuven University Press et Pergamon Press.

Glaser, R. (1992). Expert knowledge and processes of thinking. *In* D. F. Halpern (éd.), *Enhacing thinking skills in the sciences and mathematics* (p. 63-77). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Glynn, S. M. (1991). Explaining science concepts: A teaching-with-analogies model. *In* S. M. Glynn, R. H. Yeany et B. K. Britton (éd.), *The psychology of learning science* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Glynn, S. M., Yeany, R. H. et Britton, B. K. (1991). A constructivist view of learning science. *In* S. M. Glynn, R. H. Yeany et B. K. Britton (éd.), *The psychology of learning science.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Grayson, H. W. (1991). Constructivist perspectives on science and mathematics learning. *Science Education, 75*(1), 9-23

Greeno, J. G. (1992). Mathematical and scientific thinking in classrooms and other situations. *In* D. F. Halpern (éd.), *Enhacing thinking skills in the sciences and mathematics* (p. 39-63). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Grossman, P., Wilson, S. M. et Shulman, L. S. (1989). Teachers of substance: Subject matter knowledge for teaching. *In* M. C. Reynolds (éd.), *Knowledge base for the beginning teacher.* Oxford: Pergamon Press.

Gunstone, R. F. (1988). Learners in science education. *In* P. J. Fensham, (éd.), *Development and dilemmas in science education.* Philadelphie, PA: Falmer Press.

Gunstone, R. F. et Champagne, A. B. (1990). Promoting conceptual change in the laboratory. *In* E. Hegarty-Hazel (éd.), *The student laboratory and the science curriculum.* Londres et New York: Routledge.

Gunstone, R. F. et White, R. (1981). Understanding of gravity. *Science Education 65*(3), 291-300.

Halloun, I. A. et Hestenes, D. (1987). Modeling instruction in mechanics. *American Journal of Physics, 5*(5), 455.

Halpern, D. F. (1992). A cognitive approach to improving thinking skills in the sciences and mathematics. *In* D. F. Halpern (éd.), *Enhacing thinking skills in the sciences and mathematics* (p. 39-63). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Hodson, D. (1985). Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education, 12,* 25-27.

Hodson, D. (1988). Toward a philosophically more valid science curriculum. *Science Education, 72*(1), 19-40.

Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: An exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education 14*(5), 541-562.

Huberman, M. (1993). Enseignement et professionnalisme: des liens toujours aussi fragiles. *Revue des sciences de l'éducation, XIX*(1), 77-85.

Jacobsen, E. (1991). L'enseignement des mathématiques face au défi du siècle à venir. *Impact: science et société, 4*(4), 321-329.

Jonnaert, Ph. (1988). *Conflits de savoirs et didactique.* Belgique: DeBœck Éditions universitaires.

King, B. B. (1991). Beginning teacher's knowledge of and attitudes toward history and philosophy of science. *Science Education,* 75(1), 135-141.

Krajcik, J. (1991). Developing student's understanding of chemical concepts. *In* S. M. Glynn, R. H. Yeany et B. K. Britton (éd.), *The psychology of learning science.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Larochelle, M. et Desautels, J. (1991). "Of course, it's obvious": Adolescents' ideas of scientific knowledge. *International Journal of Science Education, 13*(4), 373-389.

Larochelle, M. et Desautels, J. (1992). *Autour de l'idée de science.* Sainte-Foy et Belgique: Les Presses de l'Université Laval et DeBœck-Wesmäel.

Lave, J. (1988). *Cognition in practice.* Boston, MA: Cambridge.

Lawson, A. E. (1985). A review of research on formal reasoning and science teaching. *Journal of Research in Science Teaching, 22*(7), 569-617.

Lawson, A. E. et Thompson, L. D. (1988). Formal reasoning ability and misconceptions concerning genetics and natural selection. *Science Education, 25*(9), 733-746.

Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning and values.* Norwood, NJ: Alex Publishing Corporation.

Lieury, A. (1992). *Des méthodes pour la mémoire.* Paris: Dunod.

Linder, C. J. (1992). Is teacher-reflected epistemology a source of conceptual difficulty in physics? *International Journal of Science Education, 14*(1), 11-121.

Lochhead, J. (1988). Some pieces of the puzzle. *In* G. Forman et P. B. Pufall (éd.), *Constructivism in the computer age.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Martin, B., Kass, H. et Brouwer, W. (1990). Authentic science: A diversity of meanings. *Science Education*, 74(5), 541-554.

McDermott, L. C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today, 37*, 24-32.

Meyerson, M. J., Ford, M. S., Jones, W. P. et Ward, M. A. (1991). Science vocabulary knowledge of third and fifth grade students. *Science Education, 75*(4), 419-429.

Nadeau, R. et Desautels, J. (1984). *Epistemology and the teaching of science.* Ottawa: Science Council of Canada.

National Commission on Excellence in Education (1983). *A nation at risk.* Washington, DC: US Government Printing Office.

Novak, J. D. et Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn.* Cambridge, GB: Cambridge University Press.

Padilla, M. J. (1991). Science activities, process skills, and thinking. *In* S. M. Glynn, R. H. Yeany et B. K. Britton (éd.), *The psychology of learning science.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Padilla, M. J., Okey, J. et Dillashaw, F. (1983). The relationship between science process skills and formal thinking abilities. *Journal of Research in Science Teaching, 20*(3), 239-246.

Papert, S. (1981). *Jaillissement de l'esprit.* Paris: Flammarion.

Perkins, D. N. et Salomon, G. (1989). Are cognitive skills contex-bound? *Educational Researcher, janvier-février, 16-25.*

Perrenoud, P. (1993). Formation initiale des maîtres et professionnalisation du métier. *Revue des sciences de l'éducation, XIX*(1), 59-77.

Piaget, J. (1972). *Où va l'éducation?* (2e éd.). Paris: Gonthiers, Denoël (1re éd., 1948).

Piaget, J. et Garcia, R. (1983.) *Psychogénèse et histoire des sciences.* Paris: Flammarion.

Pines, A. L. et West, L. H. T. (éd.) (1986). *Cognitive structure and conceptual change.* New York, NY: Academic Press.

Ray, C. (1991). Breaking free from dogma: Philosophical prejudice in science education. *Science Education, 75*(1) 87-93.

Resnick, L. B. (1987). Learning in school and out. *Educational Researcher 16*(9), 13-20.

Rosenthal, D. B. (1989). Two approaches to science-technology-society (S-T-S) Education. *Science Education, 73*(5), 581-589.

Ruggieri, C., Tarsitani, C. et Vicentini, M. (1993). The images of science of teachers in Latin countries. *International Journal of Science Education, 15*(4), 383-393.

Ryan, A. G. et Aikenhead, G. S. (1992). Students' preconceptions about the epistemology of science. *Science Education, 76*(6), 559-580.

Schunk, D. H. (1984). Self-efficacy perspective on achievement behavior. *Educational Psychologist, 19*, 48-58.

Scribner, S. (éd.) (1986). *Thinking in action: Some characteristics of practical thought.* Cambridge, GB: University Press.

Sequeria, M. et Leite L. (1991). Alternative conceptions and history of science in physics teacher education. *Science Education, 75*(1), 45-56.

Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher, 15*(2), 4-14.

Solomon, J. (1991). Teaching about the nature of science in the British National Curriculum. *Science Education, 75*(1), 95-103.

Smith, E. L. (1991). A conceptual change model of learning science. *In* S. M. Glynn, R. H. Yeany et B. K. Britton (éd.), *The psychology of learning science.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Stepans, J. (1991). Developmental patterns in student's understanding of physics concepts, *In* S. M. Glynn, R. H. Yeany et B. K. Britton (éd.), *The psychology of learning science.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Swartz, R. J. et Perkins, D. N. (dir.) (1989). *Teaching thinking: Issues and approaches.* Pacific Grove: Middlewest Publications.

Viennot, L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire.* Paris: Hermann.

Walberg, H. J. (1991). Improving school science in advanced and developing countries. *Review of Educational Research, 11*(1), 25-69.

Walker, J. (1989). Getting them unstuck: Some strategies for the teaching of reading in science. *School Science and Mathematics, 89*, 130-135.

Wandersee, J. H. (1985). Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions? *Journal of Research of Science Teaching, 23*(7), 581-599.

Weiner, B. (1984). Principles for a theory of student motivation and their application within an attributional framework. *In* R. Ames et C. Ames (éd.), *Research on motivation in education: Student motivation* (p. 15-39). New York, NY: Academic Press.

West, L. (1988). Implications of recent research for improving secondary school science learning. *In* P. Ramsden (éd.), *Improving learning: New perspectives.* Londres: Kogan Page.

Wheatley, G. H. (1991). Constructivism perspectives on science and mathematics learning. *Science Education, 75*(1), 9-21.