

Trois voies de la didactique des sciences de demain

Marthe Demers and Georges Llull

Volume 8, Number 2, 1982

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/900374ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/900374ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Revue des sciences de l'éducation

ISSN

0318-479X (print)

1705-0065 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Demers, M. & Llull, G. (1982). Trois voies de la didactique des sciences de demain. *Revue des sciences de l'éducation*, 8(2), 313–327.
<https://doi.org/10.7202/900374ar>

Article abstract

This paper treats two questions: firstly one regarding scientific cultivation for all, within the major theme of science and society; and secondly, that regarding the definition of scientific method and its underlying advantages. In order to attain the new objectives of a good science teacher, three directions are advocated: popularization, study of historic scientific facts, and integration. Finally, we consider the role and the work in synergism of those preoccupied with the renewal of modern science teaching.

Trois voies de la didactique des sciences de demain

Marthe Demers et Georges Llull*

Résumé — Dans cet article, il est d'abord question d'une culture scientifique pour tous dont le thème de base est : sciences et société. En second lieu, viennent la définition de la méthode « investigation » et les avantages des habiletés qu'elle sous-tend. Pour atteindre les nouveaux objectifs d'un bon enseignement des sciences, trois voies sont préconisées : vulgarisation, faits scientifiques historiques et intégration. Enfin, nous apportons quelques considérations sur le rôle et le travail en synergisme des agents concernés dans un renouveau de l'enseignement des sciences modernes.

Abstract — This paper treats two questions : firstly one regarding scientific cultivation for all, within the major theme of science and society : and secondly, that regarding the definition of scientific method and its underlying advantages. In order to attain the new objectives of a good science teacher, three directions are advocated : popularization, study of historic scientific facts, and integration. Finally, we consider the role and the work in synergism of those preoccupied with the renewal of modern science teaching.

Resumen — En este artículo se plantea en primer lugar el problema de una cultura científica para todos cuyo tema de base es : ciencia y sociedad. En segundo lugar se plantea la definición del método « investigación » y las ventajas que representa en término de habilidades. Se proponen tres vías que permiten alcanzar los objetivos de una buena enseñanza de las ciencias : la vulgarización, los hechos históricos-científicos y la integración. Por último, se presentan algunas consideraciones sobre el rol y trabajo coordinado de los agentes comprometidos en la renovación de la enseñanza de las ciencias modernas.

Zusammenfassung — Dieser Artikel handelt zunächst von einer wissenschaftlichen Ausbildung für alle, mit dem Grundthema : « Wissenschaft und Gesellschaft ». An zweiter Stelle kommen die Definition der Methode durch Erforschen (investigation) und die Vorteile der damit verbundenen Fertigkeiten. Um die neuen Ziele eines guten Unterrichts der Wissenschaften zu erreichen, werden drei (3) Wege vorgeschlagen : Vulgarisierung, historische wissenschaftliche Fakten und Zusammenschau (intégration). Schliesslich bieten wir einige Gedanken über die Rolle und die koordinierte Zusammenarbeit der verantwortlichen Mitwirkenden in einer Erneuerung des Unterrichts der modernen Wissenschaften.

Introduction

Les analyses et les commentaires pessimistes sur l'enseignement des sciences sont nombreux et très réalistes. Le temps est venu de passer à l'action et de bien préciser ce que doit être, dès aujourd'hui, la didactique des sciences de demain. Nous verrons d'abord l'emprise et la séduction que les sciences et les techniques exercent sur l'être humain. Puis, nous aborderons les grands buts des cours de sciences au secondaire selon les clientèles

* Demers, Marthe : professeur, Université de Montréal.
Llull, Georges : professeur, Commission scolaire de Chambly.

pour démontrer, ensuite, le rôle et les avantages d'une didactique basée sur l'investigation. Enfin, nous proposons trois voies d'enseignement des sciences : *la vulgarisation, moyen de communication* adopté pour rejoindre le plus grand nombre d'adolescents ; *les faits scientifiques historiques, démonstration* où l'on met en évidence l'aspect évolutif des théories et des attitudes des scientifiques ; *l'intégration, formule privilégiée pour condenser* les disciplines et éveiller aux habiletés de tout genre.

I — Emprise et séduction des sciences et des techniques

De par sa faible constitution physique, l'être humain fait face dans l'environnement naturel à de multiples difficultés pour survivre et s'épanouir. Contrairement aux autres espèces animales, il y est peu adapté. Seule son intelligence lui a permis de résister en modifiant le milieu afin qu'il corresponde à ses besoins et à ses aspirations ; l'être humain ne s'adapte pas au milieu mais il le change. C'est grâce à la science et à la technologie qu'il a réussi à se libérer des nombreuses contraintes du milieu naturel, passant de la découverte et de l'utilisation du silex au lancement d'une navette spatiale, prometteuse d'un nouveau mode de vie toujours plus dépendant des sciences et des techniques.

Combien d'entre nous seraient capables de survivre si, brutalement, tout notre environnement technologique s'effondrait ? Très peu, voire aucun. La sélection naturelle qui a permis autrefois la survie des individus les plus résistants ne joue plus. En effet, les progrès médicaux permettent la survie des faibles aussi bien que celle des forts à tout point de vue. Notre potentiel génétique n'a guère eu la chance d'évoluer et nous sommes, à l'heure actuelle sur ce plan, passablement démunis face à un processus évolutif. Tout retour vers l'homme primitif nous paraît impossible et nous sommes appelés à développer une technologie de plus en plus raffinée. L'accès facile aux techniques actuelles, source de progrès, de confort, de plaisir et de dépassement, nous conduit à une béatitude passive.

Jadis, à ses débuts, la technique restait à la portée de chaque homme, car il n'y avait pratiquement pas de fossé créé par les spécialisations. Mais au fil des siècles, grâce aux progrès de la communication entre les humains, les découvertes scientifiques et leurs applications ont progressé de façon exponentielle et ont envahi notre vie quotidienne. Cette omniprésence et cette évolution étourdissent l'homme de la rue et détournent son intérêt des sciences. Il en a ainsi perdu rapidement le contrôle. En effet, on est passé, sans s'en apercevoir, de l'Homo Sapiens à l'« Homo pitonneux ». On veut bien profiter des découvertes scientifiques et de leurs applications, mais on se refuse à les comprendre. La science est-elle menacée de redevenir de la magie devant laquelle l'« Homo pitonneux » reste béatement contemplatif, l'esprit endormi par une satisfaction facile d'utilisateur passif ?

Les cours de sciences ont perdu beaucoup de leur intérêt et rebutent les adolescents (Ste-Marie, 1981) ; à preuve, ils s'y inscrivent de moins en moins. Si on veut réagir, il faut le faire immédiatement, non seulement au niveau des écoles, mais aussi au niveau des médias d'information pour tous. L'action doit être sans tergiversation, car n'oublions pas

que nous préparons aujourd'hui les sciences du 21^e siècle. Il existe en effet un temps de latence fort long (10 à 15 ans) entre l'implantation de curricula de sciences modernes et l'acquisition d'une culture scientifique profitable. Un enseignement moderne *des sciences* doit demeurer au service de la société et préparer tous les citoyens aux réalités *techniques quotidiennes* et aux nouveaux modes de vie que nous laisse entrevoir le prochain siècle. Après avoir considéré les grands buts de l'enseignement moderne des sciences, nous verrons les trois voies de didactique à privilégier.

II — *Buts généraux d'un enseignement moderne des sciences*

Les buts généraux d'un enseignement moderne des sciences au secondaire sont d'abord *l'acquisition d'une culture scientifique* de base et, ensuite, *l'amorce d'une certaine spécialisation*.

On entend par culture scientifique de base un ensemble de connaissances des faits, concernant les sciences, sur lesquelles tout citoyen doit être renseigné, c'est-à-dire cet aspect intellectuel de la civilisation (Brovey, 1980). Deux volets conditionnent une culture scientifique: d'une part l'acquisition d'une *banque minimale de connaissances usuelles* ou de faits scientifiques d'information dont l'apprentissage est relié au premier niveau taxonomique du domaine cognitif et, d'autre part, la méthode inductive qui caractérise le processus ou la méthode scientifique. Cette méthode scientifique fait appel à une foule d'habiletés de niveaux plus élevés comme, par exemple, l'analyse et la synthèse. Elle nécessite aussi des habiletés plus étroitement liées au processus scientifique même, comme: énoncer une hypothèse, identifier les variables en cause, prévoir des contrôles, etc. L'induction est atteinte surtout à travers une intention pédagogique basée sur l'investigation. Le contenu pragmatique des cours pour une telle culture obéit au thème tant recommandé: sciences et société (Aikenhead, 1980).

Quant à l'amorce d'une spécialisation en sciences au niveau secondaire, celle-ci sera un objectif des cours optionnels dans des disciplines spécifiques destinées aux élèves plus intéressés aux sciences, afin de préparer de futures vocations. C'est s'assurer « un réservoir de scientifiques » dont on ne saurait se passer au risque de perdre son indépendance économique et culturelle.

Dans un cas comme dans l'autre, les habiletés scientifiques, l'apprentissage et l'usage de la méthode inductive restent les principes de base sur lesquels reposent toute l'éducation scientifique.

III — *L'investigation: voie privilégiée de l'apprentissage des sciences*

Pour nous, l'investigation est un concept plus large que celui du processus scientifique. On a fait de ce dernier un stéréotype rigoureux, souvent trop idéalisé. Utiliser l'investigation comme méthode d'enseignement ou d'apprentissage, c'est favoriser l'acquisition des habiletés courantes, permettant à chacun de choisir celles qui conviennent le mieux à sa personnalité et à la situation, même si la méthode scientifique classique n'est pas suivie. Notre expérience en didactique des sciences au secondaire nous a appris que,

contrairement à la méthode scientifique, l'investigation correspond mieux au mode personnel de recherche, à l'intuition et aux talents de chacun (Demers 1976; DesLierres et Demers, 1980). On trouve dans un article de Welch (1981) les mêmes constatations : « Every expected student outcome with respect to inquiry in science education should be responsive to individual differences, personal goals and community wishes ».

L'investigation repose sur la solution d'un problème par induction. Tout en demeurant une recherche rigoureuse et structurée, l'investigation se présente comme une démarche intellectuelle dans laquelle s'inscrivent d'autres démarches allant de la simple découverte spontanée au processus scientifique classique. De ce fait, elle illustre mieux la vie du scientifique et se rapproche davantage de la réalité et du quotidien que ne le fait le moule rigoureux et livresque du processus ou de la méthode scientifique. Celle-ci, telle que décrite dans de nombreux ouvrages sophistiqués sur l'histoire des sciences ou sur la philosophie des sciences, reste un idéal difficile à atteindre ; difficulté d'autant plus grande quand on est un adolescent débutant dans l'étude des sciences au niveau secondaire (Kyle, 1980).

Tout apprentissage se fait concept par concept, avant que l'ensemble de ceux-ci ne subisse une réorganisation en un réseau logique. À ce point de vue, l'investigation privilégie ces étapes et s'avère être un exercice intéressant, préalable à l'apprentissage du processus scientifique intégral si on le désire.

De par ses caractéristiques, l'investigation sert également toutes les catégories d'élèves que l'on rencontre dans un cours de sciences. Elle est profitable autant à ceux qui ne viennent chercher qu'une culture scientifique de base qu'à ceux qui veulent se préparer à une carrière scientifique. Sa maniabilité en fait un outil pédagogique de toute première valeur. En particulier, elle permet de préparer les adolescents à l'éveil de leur esprit critique et à l'acquisition d'une rigueur de pensée face aux problèmes continuels que la science résout et cause inévitablement par la nature même de sa propre évolution. Les nouveautés scientifiques apportent concurremment à l'humanité des bienfaits et des méfaits, tant au niveau individuel qu'au niveau collectif. Avec le développement des techniques et des sciences, il y aura toujours de nouveaux problèmes d'énergie, de pollution, auxquels l'homme de la rue devra faire face. Par exemple, on parle aujourd'hui de l'espace où circulent plusieurs milliers de satellites artificiels comme de la « banlieue de la terre ». Nous aurons bientôt des problèmes de pollution, d'embouteillage de cette banlieue... Les habiletés acquises par l'investigation seront plus utiles que les connaissances factuelles pour discuter des portées politiques de telles éventualités (Nagalski, 1980). Notre monde moderne sera de plus en plus obligé de s'accommoder de compromis et l'homme de la rue devra être en mesure de les comprendre et de les juger.

L'investigation permet à l'adolescent d'apprendre par induction, voie caractéristique typique des sciences. L'expérimentation plus ou moins sophistiquée et ses limites vécues à travers l'investigation rayeront de son esprit le préjugé qui veut que les théories scientifiques ne trouvent aucune solution de remplacement. Elles cesseront alors d'être à ses yeux des dogmes ou presque. Tout ceci est indispensable pour les futurs citoyens et doit faire partie de leur culture.

Face à l'extraordinaire importance que les sciences ont prise et prendront encore au 21^e siècle, on peut s'inquiéter du fait que nous parlions de « culture scientifique de base pour tous ». Est-ce à dire que tous doivent s'orienter vers les sciences et devenir des scientifiques chevronnés? Non, et ceci pour deux raisons. En premier lieu, tous les individus n'ont pas le goût ni le talent pour s'orienter vers les sciences; d'autres champs d'activités les attirent. En outre, la culture générale serait sérieusement limitée si elle n'était que scientifique, ce qui est loin d'être à craindre dans notre société actuelle. Il est impératif de diversifier les orientations, mais il faut un juste milieu.

Aujourd'hui, force est de constater que les élèves boudent les sciences à l'école et que, en général, tous les échelons de la société laissent consciemment ou inconsciemment pourrir la situation pour des raisons qui nous échappent. Il existe pourtant des voies intéressantes qui permettraient d'assurer à tous les élèves une culture de base en sciences et l'épanouissement de vocations. Nous allons expliciter trois d'entre elles et essayer de justifier leurs adoption: il s'agit en premier lieu de la vulgarisation, puis de faits scientifiques tirés de l'histoire, et enfin de l'intégration. Ces voies d'enseignement, outre de permettre un réel apprentissage des sciences à la portée de tous les citoyens, offrent la possibilité de sélectionner des problèmes scientifiques reliés à notre société et à son environnement.

IV — La vulgarisation scientifique

Peu de didacticiens ont disserté à fond sur les caractéristiques et les avantages de la vulgarisation. Voici quelques idées sur ce sujet. Elles tiendront lieu de définitions.

Vulgariser les sciences est l'art de les mettre à la portée de tous. La vulgarisation, vue sous cet angle, nous paraît une voie d'enseignement toute désignée pour le niveau secondaire, spécialement au premier cycle. Nous entendons par là: choisir les faits scientifiques les plus liés aux intérêts et au bien-être des gens et aussi les faits scientifiques de l'heure, sujets à controverses ou à des décisions politiques importantes; sélectionner les moyens de communication les plus adaptés aux objectifs poursuivis; employer un vocabulaire simple, sans craindre d'utiliser comme premiers termes d'explication les substantifs les plus liés au *sens commun*; définir à maintes reprises les concepts nouveaux pour que leur approfondissement serve d'assise aux notions subséquentes; s'en tenir à un réseau de concepts où le concret précède le plus possible l'abstrait.

Le réseau des concepts (Demers, 1976) contient la trame du contenu d'un cours ou d'une leçon; il comprend la séquence des notions où les premières servent de préalables ou de support sur lequel se greffent les autres. Il s'agit d'un chevauchement d'idées où s'applique la théorie d'Ausubel (1968). En didactique, le réseau des concepts n'est pas nécessairement conforme à l'ordre logique, car celui-ci ne coïncide pas toujours avec l'ordre d'apprentissage logique en psychologie. Pour amorcer ce dernier, rien de mieux que les notions concrètes et les phénomènes les plus courants de notre entourage. La vulgarisation, se voulant être au service de la culture scientifique, ne peut se passer du réseau des concepts tel que nous l'entendons. En résumé, la vulgarisation des sciences

consiste à élaborer un condensé pratique des connaissances scientifiques dans des termes familiers, concrets et justes. Elle vise à ce que les futurs citoyens aient une idée suffisante des phénomènes scientifiques actuels et de leur portée sociale et politique. Ainsi, les définitions en termes courants, les répétitions intentionnelles (Demers, 1971) et les analogies bien choisies deviennent ses tactiques et la sacralisation des sciences en aura pour son compte. Une telle forme d'enseignement prend toute sa valeur à travers le vécu de l'investigation où les habiletés et le mode de pensée rigoureux et critique se superposent.

Pour illustrer tout ceci, considérons un problème rencontré dans le programme ISP (Initiation aux sciences physiques, 1969) en 9^e année. Il s'agit des concepts de *chaleur* et de *température*. Les maîtres sont déçus de voir à quel point leurs étudiants confondent ces notions et ne saisissent pas l'expression suivante: « La température est fonction de la chaleur ». Si l'on tient compte des principes de la vulgarisation et du réseau approprié des concepts, les étapes didactiques seront les suivantes: 1) Par une investigation *ad hoc*, déterminer au toucher lequel des deux béchers, contenant des mêmes volumes d'eau à des températures différentes, est chaud; 2) Ajouter un troisième bécher de température différente des deux autres, mais voisine d'une d'elles. Demander s'il est plus chaud ou moins chaud que les précédents et faire placer dans un ordre de chaleur progressive les trois béchers (ici on fait appel au *sens commun* pour la signification des termes « chaud, froid » reliés à celle de températures différentes); 3) Par discussion, faire saisir que le terme chaleur vient de nos sensations et reste très imprécis et relatif. Donner des exemples, particulièrement liés aux conditions atmosphériques: « Fait-il plus chaud hier qu'aujourd'hui? » « Pourquoi certaines personnes pensent-elles le contraire? »; 4) Ajouter ce que signifie le terme « froid »; 5) Faire réaliser la subjectivité de ces termes et montrer leur imprécision: « Il fait plus froid aujourd'hui... Mais « combien » plus froid? » « L'eau du bécher X est plus chaude, mais quel est le nombre de degrés de différence? »; 6) Mesurer la température de l'eau dans les trois béchers; 7) Discuter l'importance de mesurer la chaleur à l'aide d'un instrument, le thermomètre, plutôt que se fier uniquement à ses sensations; 8) Faire faire la relation *chaleur-température*, à l'aide de cette paraphrase: La température varie avec la chaleur, et donc amener le principe: la température est *fonction* de la chaleur: $T^{\circ} = f(\text{chaleur})$.

La démarche que nous avons donnée ici en exemple peut se continuer pour démontrer ensuite les différences entre *quantité* de *chaleur* et *chaleur*. Le substantif *chaleur* a le *sens commun* de *température*. Il en est de même des qualificatifs qui en découlent; par exemple, dire que la chaleur du soleil est très élevée signifie qu'il est à une très haute température et dire: « cette eau est plus chaude » signifie qu'elle est à une température supérieure.

Dans la plupart des encyclopédies françaises, la notion de *chaleur* est exclusivement reliée à la notion de *température*. Il en est de même en anglais pour la notion de *heat*. Cependant notons que la *température* est la mesure exprimée en degrés du niveau de *chaleur*, mais n'indique nullement la quantité de *chaleur* présente exprimée en joules. Le

terme *quantité de chaleur* contient en lui-même la définition conforme à la calorimétrie. C'est ce terme qu'on retrouve dans la plupart des manuels scientifiques de base. S'il arrive que le mot chaleur soit utilisé comme synonyme de quantité de chaleur, il appartient à l'enseignant d'en décoder les deux sens et d'adopter l'expression plus simple et plus claire de *quantité de chaleur* en *calorimétrie*. D'ailleurs, dans les encyclopédies, on reproche à la majorité des physiciens d'utiliser le terme chaleur pour désigner la quantité de chaleur. On peut amener les élèves à différencier ces deux concepts en utilisant l'investigation. Il s'agit tout simplement de préparer quatre béchers : dans les deux premiers, verser une même quantité d'eau ayant des températures différentes ; demander ensuite lequel des deux béchers contient la plus grande *quantité de chaleur* ; dans les deux autres béchers, introduire cette fois deux volumes différents d'eau, toutefois à la même température ; reposer les mêmes questions. On peut ajouter l'exemple suivant qui pourrait aider les élèves : 1 tasse de café + 1 c. à thé de sucre ; $\frac{1}{2}$ tasse de café + $\frac{1}{2}$ c. à thé de sucre : lequel de ces cafés est le plus sucré au goût ? ; dans quelle tasse y a-t-il le plus de sucre ? ; la sensation sucrée est la même, dans les deux cas, la concentration de sucre est également la même, mais la quantité globale est différente. On peut également utiliser un exemple lié directement à la calorimétrie. La *quantité de chaleur* à fournir pour faire bouillir 10 litres d'eau est nettement supérieure à celle nécessaire pour faire bouillir une tasse d'eau.

Vulgariser n'est pas une chose facile. Il est nécessaire d'être continuellement à l'affût des difficultés de parcours pour les prévenir. Risquer de briser le réseau des concepts, c'est ouvrir une brèche dans le continuum des explications si importantes dans la vulgarisation. Signalons pour terminer l'importance du dictionnaire comme outil de vulgarisation. Il est facilement accessible à tous ; il permet de connaître le *sens commun* des mots et assure une communication de départ plus claire et plus uniforme. Il permet également de rejoindre les racines étymologiques des termes et de relier entre eux certains concepts.

Nous voulons attirer l'attention du lecteur sur les dangers d'une certaine forme de vulgarisation, tant au niveau des médias d'information qu'au niveau de l'enseignement. En premier lieu, une erreur fort répandue consiste à faire de l'animisme ou de l'anthropomorphisme (Jungwirth, 1979). Voici un exemple : « Les globules blancs *savent* qu'ils doivent combattre les microbes ». Sous prétexte de mieux faire assimiler une notion, un phénomène, on les dépouille de leur véritable sens. De ce fait, la démarche et la rigueur scientifiques sont sacrifiées et l'on frise souvent l'erreur quand, pensant simplifier, on ajoute une note animiste. En second lieu, il y a une autre erreur qui, dans bien des cas, passe inaperçue des spécialistes de la vulgarisation et donc du grand public. Elle consiste à faire du finalisme et à raisonner comme si un plan directeur ou une finalité dirigeaient l'évolution des faits scientifiques. Les exemples sont nombreux mais nous nous limiterons à un seul. Quel professeur de sciences naturelles n'a pas dit à ses élèves : « Les oiseaux ont des ailes pour voler, les mammifères terrestres, des poumons pour respirer l'oxygène de l'air », etc., comme si'il existait dans la nature un plan qui a doté les oiseaux d'ailes parce qu'ils étaient destinés à voler. Non, la notion est tout aussi facilement assimilable si l'on dit : « Les oiseaux volent parce qu'ils ont des ailes, les mammifères terrestres respirent

parce qu'ils ont des poumons ». On fait alors du causalisme, seule démarche intellectuelle autorisée en sciences.

Mais, au rythme des découvertes scientifiques, quoi de mieux que de joindre, à la vulgarisation, des faits scientifiques historiques où l'évolution des théories ne sera plus, après les études, une surprise déconcertante, enlevant aux sciences leurs lettres de crédibilité.

V — Les faits scientifiques historiques

L'histoire des sciences, par les récits des découvertes, peut servir de voie didactique intéressante pour planifier des investigations scientifiques en laboratoire. Dans un tel cas, elle ne doit pas être enseignée pour l'histoire elle-même. Elle constitue plutôt un prétexte pour faire « jouer » l'élève au scientifique et, à l'instar de ce dernier, pour l'engager dans l'investigation d'un problème scientifique de l'époque. Pour ce faire, l'enseignant doit bien choisir les faits scientifiques historiques, en poser le problème aux élèves qui tenteront de le solutionner en laboratoire, ce qui favorisera l'acquisition des habiletés souhaitées. Une fois l'investigation terminée, un retour sur l'époque et les chercheurs en cause agrémentera le travail accompli et permettra de comprendre le côté humain des sciences et des chercheurs. L'histoire n'est plus alors une démarche théorique ni philosophique, ou encore un procédé d'apprentissage mécanique où seule la mémoire intervient. Un exemple couramment cité illustrera notre propos. Il s'agit des expériences de Rédi et de Pasteur sur la génération spontanée (BSCS, 1966). Ce sont des expériences faciles à réaliser en classe et les élèves sont particulièrement intéressés par ce genre de laboratoire. La didactique du maître peut alors accentuer et parfaire l'apprentissage des habiletés scientifiques, en favorisant la discussion sur des cas concrets, situés dans un contexte social précis : l'élève vit alors l'induction. C'est aussi faire prendre conscience des limites de la précision des sciences.

L'histoire des sciences, telle que nous la concevons, permet également aux élèves de mieux vivre et de comprendre la nécessité de la rigueur scientifique, le rôle primordial de l'esprit critique, les caractéristiques comparées de la méthode inductive et de la méthode déductive. Ils sont alors capables de percevoir toutes les précautions qu'il faut apporter à la recherche scientifique et la prudence à exercer dans les conclusions. De temps à autre, quand l'investigation matérielle s'avère impossible, le laboratoire « sec », c'est-à-dire sur des données préalables, associe, grâce au voyage dans le temps, la découverte scientifique à ses applications et à ses conséquences bienfaisantes ou néfastes. Raconter les faits de la découverte de l'asepsie ou ceux de la fission nucléaire en y mettant le suspense de l'investigation conduira certainement les adolescents à intérioriser l'idée qu'il est emballant d'avoir des vues futuristes, mais surtout qu'il est sage de ne pas s'aventurer dans n'importe quelle expérimentation aux résultats hasardeux. Il ne faut pas davantage risquer des applications sans en jauger au préalable les conséquences. Ainsi on pourra constater à quel point les sciences jouent un rôle dans la société dont elles demeurent le principal moteur. Leur ambivalence (bienfaits et méfaits apportés) éduque

aux compromis inéluctables qu'elles entraînent face aux valeurs humaines. On voit ici l'importance de la vulgarisation pour mieux atteindre les objectifs du message proposé. Quoiqu'il en soit, l'histoire des sciences comme voie d'enseignement ne s'applique de façon efficace qu'à des portions *ad hoc* des programmes. Pour bien mettre à profit son utilisation, il faut, en premier lieu, toute une équipe de personnes formées à tous les niveaux pour parfaire des programmes dans ce sens. En second lieu, seule une formation adéquate des maîtres permettra à une telle méthode de réaliser efficacement tout son potentiel.

Il y a une utilisation didactique nouvelle de l'histoire des sciences. Il s'agit de voir à travers le passé les voies de l'évolution des concepts. Leur forme et leur progression ont souvent été conditionnées par la société et le temps (Toulmin, 1972). Ces changements n'ont-ils pas été vers plus de précision dans les concepts? Ces considérations nous rappellent le lien entre l'évolution embryologique des mammifères et l'évolution de l'espèce. On dit que les individus en gestation refont l'histoire de l'espèce. Parallèlement, l'acquisition et le développement des concepts dans l'apprentissage ne suivraient-ils pas normalement un ordre décalqué sur celui qu'on retrouve dans l'histoire des concepts scientifiques? Cette source de renseignements didactiques venant de l'histoire dont on se sert pour ériger des réseaux de concepts dans les programmes est nouvelle et on n'en connaît par encore toute la portée. Quoi qu'il en soit, l'investigation d'un problème scientifique actuel doit faire appel à l'intégration, autre voie utile à l'enseignement des sciences pour tous.

VI — L'intégration

Rappelons que le premier but de l'enseignement des sciences au secondaire, où se retrouve la majorité de la population scolaire, est de donner une culture scientifique de base. Cette culture dite scientifique est, au même titre que les autres cultures, un droit et un devoir pour tous les citoyens, quels qu'ils soient. Ses thèmes concerneront en tout premier lieu les connaissances des phénomènes naturels et des techniques qui font partie de notre vie quotidienne et sociale. Il s'agit donc de faits dont les explications ne se rétrécissent pas en une seule discipline : biologie, chimie ou physique, mais exigent une interdisciplinarité ; toutes y sont simultanément requises et les barrières de la spécialité tombent. C'est cela l'intégration. C'est aussi humaniser et socialiser les sciences. L'intégration des sciences éduque l'élève à son rôle de citoyen où sciences et techniques sont imbriquées dans la société, dans la culture et dans les valeurs humaines. L'enseignement des disciplines prises isolément n'a servi qu'à limiter notre compréhension des sciences naturelles et qu'à les couper du contexte humain et social. Notre ignorance sur les possibilités de résoudre les problèmes de l'heure s'en est trouvée augmentée, bien que l'information scientifique ait été abondante. « He (everyone) seeks knowledge for action as well as for intellectual enlightenment » (Hurd, 1973).

Comme le faisait remarquer Szent-Györgyi (1970), prix Nobel, « quand je sors comme citoyen, ce n'est pas de la chimie ou de la physique que je vois : c'est de la lumière ou de l'obscurité, des rochers ou des nuages ; ce que je souhaite dans les écoles, c'est de voir

ce sujet d'étude, la nature, non la physique ou la chimie ». L'auteur poursuit en disant : « Ne coupez pas la science des humanités, ou vice-versa ». Fort heureusement, les programmes actuels d'écologie offrent la possibilité d'intégrer les sciences où ne se retrouvent plus (du moins on l'espère) de la zoologie ou de la botanique telles quelles, mais des sciences du milieu, y compris des humanités et de la sociologie. Bref, dans une culture, les connaissances scientifiques doivent s'intégrer et se jumeler aux connaissances techniques sans faire abstraction de leur lien avec la société.

Le titre actuel des *curricula*, « sciences et société », traduit cette philosophie. Déjà en 1973, on s'en préoccupait de façon systématique. L'American Association for the Advancement of Science présentait sur ce sujet près de 4000 références : livres, articles ou autres. Aujourd'hui, l'Université de Melbourne en Australie travaille sur de nombreux blocs de cours servant à l'élaboration d'un nouveau *curriculum*. Le titre de ces blocs reste « sciences et société. »

Quels sont les différents types d'intégration ? Si nous nous référons à la revue *Pédagogiques* (Bertrand, 1976), il y aurait deux grands types : l'interdisciplinarité, développement fonctionnel, (par exemple la biochimie) ; la transdisciplinarité, développement systémique, où l'intégration est tellement globale que la fusion des disciplines donne naissance à une nouvelle discipline (par exemple, l'anthropologie). L'intégration des sciences comporte donc la fusion de certaines disciplines en vue de répondre à un problème.

Il y a une échelle possible d'intégration partant de l'interdisciplinarité à la transdisciplinarité. Quelles que soient ces distinctions, pour nous l'interdisciplinarité restera ici synonyme d'intégration au sens large du terme.

L'intégration a des exigences, et bien des *curricula* y ont fait échec. Il convient d'abord d'utiliser des problèmes simplifiés pour habituer aux habiletés scientifiques, surtout celles qui sont les plus formelles, comme l'interprétation ; mais il faut en sortir par la suite pour aborder des problèmes d'actualité et initier aux sciences intégrées. La formation du maître doit être pertinente et le degré de maturité des élèves doit être pris en considération.

L'intégration fait face à bien des oppositions lorsqu'on en parle comme stratégie d'élaboration de *curricula* au secondaire. Pour ses adversaires, c'est enlever à la science une certaine pureté ou simplicité, de même que son aspect soigné, précis et ordonné. Ces considérations sont souvent justifiées, comme le dit Hayward (1973), mais l'auteur précise que, trop souvent, on fragmente les problèmes scientifiques de façon telle que les portions étudiées restent dans une clarté relative tout à fait artificielle. De tels cloisonnements habituent l'élève à des recherches et à des résultats scientifiques où on a réduit le nombre de variables normalement présentes dans la nature. La science apparaît simpliste à l'extrême, pour ne pas dire farfelue ; on l'a exagérément mise à l'écart de son contexte réel. Pourtant, les problèmes de l'heure nous obligent à plus d'envergure et de subtilité que n'en assurent les laboratoires stéréotypés ou recettes. Ils nécessitent de plus en plus d'intégration et d'habiletés spécifiques qui en découlent : *décision et compromis*. Pensons

par exemple aux interrelations entre la pollution industrielle et les progrès économiques. Et ce n'est pas tout ! L'influence inverse et simultanée de ces deux facteurs sur le bien-être des individus ne facilite pas les choses. Ceci n'est qu'un cas parmi bien d'autres. Disons par dérision qu'il s'agit d'un éternel triangle. Qu'on le veuille ou non, les sciences hors de la classe sont des sciences intégrées, nécessitant des *décisions* à prendre, des *compromis* à accepter. Peut-il y avoir meilleure école pour s'exercer aux décisions équitables et aux compromis acceptables que l'étude des sciences modernes intégrées ?

L'intégration nous semble a priori lorsqu'il s'agit d'initiation à la culture scientifique. Cette forme tient lieu de canevas dans les conceptions de curricula où les connaissances scientifiques utiles sont prévues. L'intégration a priori porte sur un problème dont on a prévu les disciplines scientifiques impliquées et leurs principes utiles. Il ne s'agit donc pas ici de faire faire de l'intégration, mais plutôt d'utiliser celle-ci pour faire acquérir l'esprit d'analyse et de synthèse, la prise de décision et l'art du compromis. L'intégration prise en elle-même favorise plutôt le spectre acceptable de connaissances interdisciplinaires identifiées comme partie de la culture scientifique.

Dans les recherches sophistiquées, il y a une autre forme d'intégration qui s'impose : l'intégration a posteriori. Chez les scientifiques spécialisés, elle arrive à propos pour relier les données fragmentées issues de recherches préalables. Dans un tel cas, il s'agit de placer les résultats dans un schème ou spectre nécessitant l'intégration des disciplines. Cela s'impose pour obtenir une réponse systématique : n'oublions pas que l'intelligence obéit en toute fin à une démarche d'intégration et non de compartimentage.

Comment alors l'intégration doit-elle se faire au niveau des curricula (Piel, 1981) ? Elle peut se faire autour des concepts. Ainsi par exemple, la pression peut être traitée du point de vue de la physique, de la météorologie, de la biologie et du français. L'intégration peut se faire aussi au niveau des habiletés et des objectifs, mais c'est au niveau des grands thèmes qu'elle semble donner son optimum. On trouvera dans le Nuffield Secondary Science (1971) des exemples : l'interdépendance des vivants, les mouvements en physique et en biologie, le contrôle et l'utilisation de l'énergie. Remarquons que de tels thèmes présentent des contenus de sciences utiles à tous et couvrant des problèmes d'actualité. Les principes scientifiques qu'on y retrouve arrivent à propos sans qu'on s'interroge sur la discipline à laquelle ils appartiennent. Nous sommes loin de ces heureuses créations, dans nos programmes actuels, où les conceptions nouvelles restent à proprement parler de l'ersatz.

Quelle que soit la vocation du jeune citoyen : cadre, industriel, politicien, scientifique ou simplement futur électeur, la culture scientifique sera mieux acquise par l'intégration. N'oublions toujours pas que l'investigation reste à travers cette voie d'enseignement et les autres, la méthode de formation par excellence.

Conclusion

Nous sommes actuellement témoins de la crise de l'enseignement des sciences dans nos écoles. Des articles nombreux et unanimes ne cessent de nous rappeler cette

situation des plus alarmantes. Le problème n'est pas seulement chez nous (Harms, 1981); il semble s'être généralisé même dans les pays très avancés en sciences, en technologie et en leur didactique. Il nous faut cesser dès maintenant les doléances pour passer à l'action et doter nos jeunes à tout le moins d'une culture scientifique digne de notre ère moderne. Le renouveau doit se faire dès maintenant, car l'évolution exponentielle des sciences, des techniques et de leurs applications, accentuera de jour en jour notre retard: nous serons bientôt dépassés par tous ces agents affectant notre mode de vie, notre politique et notre économie. Continuer le statu quo, c'est amputer notre population d'une facette importante de la culture souhaitée; c'est aussi la conduire dans le cercle des groupes scientifiquement sous-développés.

Nous avons maintenant la chance de bénéficier de sources intéressantes et valables pour un renouveau. Pensons d'abord à l'introduction *de la méthode inductive en éducation*; elle nous assure des recherches rigoureuses et des résultats fiables. Elle a été à la source des théories d'apprentissage dont on peut faire profiter l'enseignement moderne des sciences. Les têtes d'affiche sont bien connues: Piaget, Ausubel, Toulmin, Novak, etc.

Les recherches en sciences de l'éducation se poursuivent et s'accroissent rapidement comme en témoigne le nombre de plus en plus imposant des revues spécialisées en enseignement des sciences. Leurs articles sont d'un haut calibre et nous permettent d'entrevoir ce que doit être l'éducation. Il s'agit pour nous de transposer ces connaissances dans le remodelage de nos programmes et de notre enseignement.

L'emprise des sciences sur notre vie nous oblige à donner une nouvelle orientation à nos cours. La première consiste à doter tous les élèves du secondaire de connaissances dans le domaine scientifique au même titre que dans les autres domaines. On l'a trop oublié, ce qui faisait dire à Harms (1981, p. 114): « At all levels, science education in general is given a relatively low priority when compared with the language arts, mathematics and social studies, and its status is declining. » Le peu de considération apportée aux sciences vient, d'après l'auteur, du manque de promotion faite aux sciences, de l'inattention accordée à ces disciplines par les administrateurs et de la réduction des budgets nécessaires à leur enseignement.

Cette analyse dépeint parfaitement les politiques actuelles de notre ministère de l'Éducation. Les sciences au secondaire doivent prendre une proportion et surtout atteindre un niveau de qualité, en conformité avec les besoins de notre temps: sciences et société devrait en être le thème général. Celui-ci se prête bien à l'identification des connaissances à privilégier pour tous les futurs citoyens dans les nouveaux programmes de sciences. Voici quelques exemples: utilisation des ressources naturelles, ingénierie humaine, etc. Ces sujets ouvrent en outre des perspectives d'acquisition d'habiletés non seulement classiques (observation, interprétation, esprit critique), mais aussi d'habiletés nouvellement justifiées: art des compromis, prise de décision.

Les cours de sciences de l'avenir seront plus formateurs qu'informateurs, assurant ainsi une plus grande durée à l'apprentissage. L'investigation en sera le principe de base.

Les voies d'enseignement nécessaires ne font guère défaut; leur énumération peut devenir fastidieuse tant leur nombre est imposant. Il suffit de déterminer celles qui répondent aux objectifs proposés. Nos études et nos recherches sur la didactique à privilégier nous ont facilement fait opter pour la vulgarisation scientifique, l'utilisation de certains faits scientifiques historiques et l'intégration.

Ces trois voies, par leur procédé et leur rôle, sont tout indiquées pour atteindre le renouveau dans l'enseignement des sciences. Nous les avons explicitées, puis analysées suffisamment, pour qu'on ne doute plus de leur efficacité. De prime abord, on peut croire qu'il s'agit d'un rêve. Dans les faits, elles sont simples et sans mystère. Leur application et leur réussite dépendent: de la conception des programmes, du style de réalisation des formules pédagogiques et de la formation et de la préparation à cette réalisation des programmes.

La *conception* des programmes doit tout mettre en œuvre pour traduire le renouveau en enseignement des sciences au secondaire. Il s'agit donc d'un travail en synergisme, car les exigences dépassent le rendement possible d'un ou de deux responsables, quels qu'ils soient. Il est normal, devant la tâche à accomplir, de trouver à l'œuvre des représentants de groupes divers, tels les enseignants, les chercheurs, les théoriciens en éducation, les didacticiens et les associations comme l'APSQ (Association des professeurs de sciences du Québec). Les suggestions dans leur ensemble augmenteront les chances de succès et elles ne seront plus repoussées au rang de critiques, parce qu'elles viendront soutenir un fait accompli, des programmes déjà élaborés ou presque.

Nos études sur des projets analogues nous prouvent la nécessité de formation d'une telle équipe et de son ouverture sur la société: se priver de l'un ou l'autre de ces secteurs, c'est enlever au projet l'intégralité attendue. Une vigilance constante doit s'exercer sur la congruence des étapes d'élaboration du curriculum au sens moderne (De Landsheere, 1979), à savoir la vérification du lien entre les finalités, les objectifs, les contenus, les stratégies, le matériel et les évaluations. Cette congruence n'a rien à voir avec les possibilités illimitées des créations lors de la réalisation même du curriculum. Elle fait plutôt figure de filon logique entre les étapes d'élaboration. En contraindre le développement par des *prescriptions détaillées*, c'est faire office d'éteignoir aux créations possibles, mais imprévisibles. La fidélité à de telles prescriptions qui sont souvent aléatoires, fait qu'il n'y a plus création, mais prédétermination. Agir ainsi, c'est établir un système fermé et en encourir les fâcheuses conséquences... comme le comprennent les scientifiques qui ont touché à la thermodynamique.

La *réalisation des formules pédagogiques* concerne l'école et plus particulièrement les enseignants. On s'attend à ce que ces derniers aient une profonde vocation de professeur de sciences. C'est le premier gage de succès pour promouvoir une culture et une levée de futurs scientifiques. Bien informés des intentions pédagogiques des programmes, les enseignants doivent en poursuivre la bonne marche en se servant à l'optimum des stratégies appropriées. Souvent, ils n'osent faire des tentatives de changements parce que leur méthode traditionnelle les sécurise. Ceci s'explique. D'abord, durant leurs propres

études, l'image des voies nouvelles d'enseignement ne leur a guère été présentée. De plus, la réalité tangible de la prise de notes au cours sous une dictée magistrale, ou encore le remplissage de cahiers d'exercices fournissent un critère comptable ou quantitatif satisfaisant de la tâche accomplie. Les voies proposées se prêtent moins bien à ce genre de calculs parce qu'elles sont davantage reliées à des objectifs d'apprentissage (objectifs d'étudiants) qu'à des objectifs de « boucler » un programme (objectifs d'enseignants).

Notre expérience auprès des futurs enseignants nous a révélé les restrictions qu'on met à « plonger » dans ces nouveautés pourtant bien adaptées aux situations. Mais un premier essai a vite fait de les convaincre et de renverser l'image de leur rôle face à l'apprenant.

Les membres attachés au secteur scientifique dans l'école doivent être informés des objectifs poursuivis : techniciens de laboratoires, administrateurs d'école, syndicats apporteront leur concours pour créer une atmosphère favorable à l'enseignement moderne des sciences. L'activité des jeunes en classe suscitant un enthousiasme à ne pas confondre avec l'indiscipline sera acceptée. Bref, tous se sentiront, sans parcimonie, au service de la culture.

Enfin, *la formation des maîtres* doit assurer à ces derniers une compétence indubitable concernant la didactique proposée. Celle-ci leur offrira une garantie de succès dans les objectifs nouveaux d'enseignement des sciences et, en même temps, un potentiel d'adaptation facile à d'autres stratégies.

Dans les perspectives nouvelles mentionnées, l'Université se doit d'engager une saine proportion de spécialistes travaillant à la didactique, aux recherches et à la documentation. Son rôle devient celui de centre-ressource et de gardien de la culture. Le contact avec le milieu lui permet de mieux remplir ce rôle et de répondre adéquatement aux besoins identifiés. Si, par exemple, on constate des difficultés à faire entrer dans le milieu scolaire de jeunes diplômés porteurs d'une didactique moderne, l'Université se doit d'enquêter sur les besoins en recyclage, afin que les standards de l'enseignement moderne ne soient pas retardés dans leur évolution ou sacrifiés.

Le potentiel pour assurer une bonne culture scientifique de base ne manque pas. Ce qui importe maintenant, c'est une organisation susceptible d'en concrétiser la mise en place. La culture scientifique préconisée pour les jeunes est, en fin de compte, un atout pour l'exercice aux responsabilités qu'ils auront à prendre face à la vie moderne. C'est en même temps un appel à la responsabilité des maîtres. Mais nous, face à l'enseignement moderne des sciences et des techniques, saurons-nous prendre les responsabilités qui nous incombent ?

RÉFÉRENCES

- Aikenhead, G.S., *L'enseignement des sciences dans une perspective sociale*, Ottawa : Conseil des sciences du Canada, 1980.
- American Association for the Advancement of Science, *Science and Society*, A bibliography, 3^e éd., Washington, D.C. : 1973.

- Ausubel, D.P., Educational Psychology, in J.D. Novak, *A Theory of Education*, Ithaca, New-York: Cornell University Press, 1977, p. 24-26.
- Bertrand, Y., L'interdisciplinarité: Analyse, *Pédagogiques*, vol. 1, no 4, 1976, p. 3-9.
- Broye, D.J., Science Among Ordinary Citizens, *Journal of College Science Teaching*, vol. 10, no 2, 1981, p. 88-91.
- BSCS, *Biologie. Des molécules à l'homme*, traduction, Montréal: Centre de psychologie et de pédagogie, 1963.
- De Landsheere, G., *Dictionnaire de l'évaluation et de la recherche en éducation*, Paris: Presse universitaires de France, 1979.
- Demers, M., *Micro-enseignement*, (microteaching en sciences), Montréal: Lidec, 1971.
- Demers, M., *La didactique des sciences par contrat*, Montréal: La Librairie de l'Université de Montréal, 1976.
- DesLierres, T., Demers, M., L'observation et l'interprétation dans l'enseignement des sciences, *Revue Canadienne de l'éducation*, vol. 5, no 1, 1980, p. 52-61.
- Harms, N., Project Synthesis: Summary and Implications for Teachers, in N.C. Harms et R.E. Yager, *What Research Says to the Science Teacher*, Washington, D.C.: National Science Teachers Association, 1981, vol. 3, p. 113-128.
- Hayward, O.T., Integrated Science — The Untidy Field, *The Science Teacher*, vol. 40, n 2, 1973, p. 32-33.
- Hurd, P. de H., Integrated Science, *The Science Teacher*, vol. 40, no 2, 1973, p. 18-19.
- ISP, *Initiation aux sciences physiques*, traduction, Montréal: Institut de recherches psychologiques Inc., 1969.
- Jungwirth, E., Do Students Accept Anthropomorphic and Teleological Formulations as Scientific Explanations? *Journal of College Science Teaching*, vol. 8, no 3, 1979, p. 152-155.
- Kyle, W.C. jr., The Distinction between Inquiry and Scientific Inquiry and Why High School Students Should be Cognizant of this Distinction, *Journal of Research in Science Education*, vol. 17, no 2, 1980, p. 123-130.
- Nagalski, J.L. Why « Inquiry » must hold its ground, *The Science Teacher*, vol. 47, no 4, 1980, p. 26-27.
- The Nuffield Foundation, *Nuffield Secondary Science, Teachers' Guide*, London: Longman Group Limited, 1971.
- Piel, E.J., Interaction of Science, Technology and Society in Secondary Schools, in N.C. Harms, R.E. Yager, *What Research Says to the Science Teacher*, Washington, D.C.: National Science Teachers Association, 1981.
- Ste-Marie, L., Évaluation de l'enseignement des sciences au secondaire en fonction des objectifs généraux et particuliers de cet enseignement, *Revue des sciences de l'éducation*, vol. 7, no 1, 1981, p. 81-96.
- Szent-Györgyi, A., Interdisciplinary Science Education: A position paper, *The Science Teacher*, vol. 37, no 8, 1970, p. 3-4.
- Toulmin, S., Human Understanding, vol. 1: The Collective Use and Evolution of Concepts, in J.D. Novak, *A Theory of Education*, Ithaca, New-York: Cornell University Press, 1977.
- Welch, W.W., Inquiry in School Science, in N.C. Harms et R.E. Yager, *What Research Says to the Science Teacher*, Washington, D.C.: National Science Teachers Association, 1981.