

APPRENDRE LES SCIENCES PAR UNE DÉMARCHE DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Daniel Gil-Pérez

En le situant, parmi les modèles proposés par les didacticiens, comme un enrichissement du modèle du changement conceptuel, l'article développe et justifie théoriquement un modèle d'enseignement des sciences physico-chimiques au lycée par le traitement scientifique de situations problématiques ouvertes. L'enseignement est conçu comme l'organisation de programmes d'activités de recherche effectuées par des chercheurs novices (les élèves) sous la direction d'experts (les enseignants) au sein du groupe-classe, incluant la lecture et la communication, au même titre que l'expérimentation, comme des aspects essentiels de la démarche scientifique.

s'inspirer des caractéristiques du travail scientifique :

un fil conducteur pour la transformation de l'enseignement des sciences

Après l'échec du modèle d'apprentissage par la découverte développé dans les années soixante, il pourrait sembler aujourd'hui hors de question d'associer l'apprentissage des sciences à la démarche scientifique. Nous essaierons de montrer, pourtant, que l'idée de s'inspirer des caractéristiques du travail scientifique n'est pas une idée exclusive du modèle d'apprentissage par la découverte. Elle constitue au contraire un véritable fil conducteur dans la transformation de l'enseignement des sciences, même s'il n'est pas toujours explicite. Cette idée, qui a montré sa fécondité, se voit confortée par les orientations constructivistes qui constituent aujourd'hui le paradigme émergent (Resnick, 1983 ; Wheatley, 1991) et, comme nous essaierons de le montrer, par les implications de l'épistémologie contemporaine dans l'enseignement. Dans cet article nous proposons donc de montrer que les tendances innovatrices dans l'enseignement des sciences peuvent s'interpréter comme le fruit d'un rapprochement de plus en plus grand entre le processus d'enseignement/apprentissage des sciences et les caractéristiques de la recherche scientifique.

1. LE MODÈLE D'APPRENTISSAGE PAR LA DÉCOUVERTE, UN POINT DE DÉPART

Nous avons déjà fait référence à l'échec du modèle d'apprentissage par la découverte. De nombreuses analyses ont montré l'inductivisme extrême qui présidait à cette orientation. Le manque d'attention aux contenus et l'insistance à promouvoir une activité complètement autonome des élèves sont par ailleurs bien connus, de même que les piètres résultats obtenus, tant pour l'acquisition des connaissances

l'éducation scientifique comme une composante essentielle de la formation des futurs citoyens

échec ou élément dynamisateur ?

que pour la familiarisation des élèves avec la démarche scientifique. Nous considérons cependant que cette analyse critique, bien que correcte dans son ensemble, ne doit pas se traduire par un rejet global et qu'elle demande une étude plus nuancée de ce vaste mouvement de réforme.

Nous signalerons, en premier lieu, que l'idée de faire de l'éducation scientifique une composante essentielle de la formation des futurs citoyens (et ceci dans le sens le plus large de familiarisation avec les acquis fondamentaux des sciences *et avec ses méthodes*), est partagée par d'éminents savants et éducateurs comme Dewey, Langevin ou Piaget.

Le courant de l'apprentissage par la découverte a voulu développer pleinement cette intuition selon laquelle les étudiants devaient se familiariser avec les activités du travail scientifique pour pouvoir comprendre ses constructions conceptuelles. L'implication des élèves dans des tâches scientifiques visait en outre à donner une vision ouverte et accessible de la science, à favoriser une attitude plus positive envers son apprentissage et à attirer l'attention sur la spécificité et l'efficacité de ses méthodes. Et, bien que les résultats atteints aient été très en dessous des objectifs visés, les propositions d'apprentissage par la découverte ont été à l'origine d'un processus de transformation curriculaire dans lequel nous sommes toujours immergés. De ce point de vue, les résultats atteints dans le cadre du paradigme d'apprentissage par la découverte ne peuvent pas être interprétés comme un simple échec, mais sont à considérer plutôt comme le point de départ des restructurations ultérieures, comme un élément dynamisateur d'un enseignement ancré dans des traditions acceptées comme "naturelles" sans aucune analyse critique.

2. LES APPORTS DU MODÈLE D'APPRENTISSAGE PAR RÉCEPTION SIGNIFICATIVE

rejet total de l'association entre apprentissage des sciences et travail scientifique?

On sait que la critique de l'apprentissage par la découverte s'est accompagnée d'un plaidoyer pour l'apprentissage par réception ou, autrement dit, pour l'enseignement par transmission de connaissances déjà élaborées. Mais cela ne signifiait ni un simple retour au modèle "traditionnel" ni un refus total de l'idée de définir l'activité des élèves en référence avec les caractéristiques du travail scientifique. En effet, il est vrai qu'Ausubel (1968) appuie sa défense de l'enseignement par transmission sur *"le manque de capacité de la plus grande partie des élèves à découvrir de façon autonome tout ce qu'ils doivent apprendre"*, ce qui peut être interprété comme un rejet de l'association entre apprentissage des sciences et le travail scientifique. Cependant, la considération attentive de quelques propositions essentielles d'Ausubel montre une indéniable cohérence avec les

thèses de l'épistémologie contemporaine sur la nature de la science. Ainsi, par exemple, l'importance accordée par Ausubel aux connaissances préalables des élèves et à l'intégration des nouvelles connaissances dans leurs structures conceptuelles est tout à fait cohérente avec le rôle que les conceptions des savants - les paradigmes théoriques - jouent dans tout le processus de la recherche scientifique. De même, en revalorisant le rôle joué par le professeur pour orienter et faciliter un apprentissage significatif - par opposition avec la dispersion des acquisitions résultant des "découvertes incidentes" dans le travail autonome -, Ausubel rejoint l'un des traits fondamentaux du travail scientifique. Pour tout chercheur en effet, et surtout s'il s'agit d'un chercheur novice, il est important de prendre en compte l'aide et le guidage de collègues plus expérimentés et de l'ensemble du collectif auquel il appartient.

assimilation
versus
construction de
connaissances

A travers des aspects comme ceux qui viennent d'être signalés, le modèle d'apprentissage par réception significative se trouve, sans doute, plus proche de la nature du travail scientifique que ne l'est celui de l'apprentissage par la découverte. Il s'agit, néanmoins, d'une approximation insuffisante, puisque le modèle vise explicitement la simple assimilation de connaissances et renonce à la participation des élèves à leur construction. L'enseignement du professeur devient ainsi une transmission directe de connaissances déjà élaborées.

D'un autre côté, bien que ce modèle rejette explicitement l'inductivisme qui caractérisait l'apprentissage par la découverte, il convient de noter que, de façon sous-jacente aux propositions d'assimilation d'une connaissance déjà élaborée, les thèses inductivistes persistent, puisque les connaissances continuent à être considérées comme quelque chose d'extérieur au sujet, qui doit les "assimiler". L'apprentissage par réception s'éloigne ainsi des conceptions actuelles sur la façon dont les connaissances scientifiques sont construites, et on pourrait attribuer à cet éloignement - c'est tout au moins notre hypothèse - son inefficacité à atteindre simplement les modestes objectifs d'un apprentissage exclusivement conceptuel, qui oublie les aspects de procédure. En effet, les recherches sur les "erreurs conceptuelles" ont mis radicalement en question l'efficacité du modèle de transmission/réception de connaissances déjà élaborées : ce modèle se montre incapable d'obtenir une appropriation des connaissances réellement significative ; il transmet, de plus, une vision déformée et appauvrie de la science - inévitablement transmise par le curriculum (Hodson, 1985) -, qui semble en grande partie responsable des attitudes négatives envers la science et son apprentissage.

nécessité d'une
nouvelle révision
en profondeur du
modèle
d'enseignement
et d'apprentissage

La nécessité d'une nouvelle révision en profondeur du processus d'enseignement/apprentissage s'imposait. Mais il faut insister sur le fait que les modèles d'apprentissage par découverte et par réception significative n'ont pas représenté

de simples pertes de temps et d'efforts. Bien au contraire, grâce à ces "échecs", les difficultés ont été mieux comprises, sans que l'on tombe pour autant dans la disqualification simpliste d'un enseignement "traditionnel" facile à transformer. Et l'effort pour fonder un modèle efficace d'enseignement des sciences allait à nouveau se tourner explicitement - avec le modèle de changement conceptuel - vers l'activité des savants comme source d'inspiration pour orienter l'apprentissage des élèves.

3. LE MODÈLE DU CHANGEMENT CONCEPTUEL

un consensus
émergent

On s'accorde aujourd'hui pour constater, dans l'enseignement des sciences, un consensus émergent autour des orientations constructivistes considérées comme l'apport le plus remarquable des dernières décennies dans ce domaine (Gruender et Tobin, 1991). Nous ne croyons donc pas nécessaire de décrire de façon détaillée les caractéristiques essentielles de cette nouvelle vision de l'apprentissage. Resnick (1983) les résume sous la forme de trois principes :

trois principes
fondamentaux

- *"Celui qui apprend construit des signifiés, il ne reproduit pas simplement ce qu'il lit ou ce qu'on lui apprend."*
- *"Comprendre quelque chose suppose établir des relations (...). Les fragments isolés d'information sont oubliés ou restent inaccessibles à la mémoire."*
- *"Tout apprentissage dépend de connaissances préalables."*

convergence de
recherches
diverses

Ces trois principes constituent, comme le signale Resnick, une simplification qui recouvre une grande complexité, mais ils permettent déjà de mettre en évidence une indéniable similitude avec certains aspects fondamentaux de la façon dont les chercheurs construisent les connaissances scientifiques. Cette similitude a été mise en relief par de nombreux auteurs (Posner et al, 1982 ; Gil, 1983 ; Gil et Carrascosa, 1985 et 1990 ; Hodson, 1988 ; Burbules et Linn, 1991 ; Duschl et Gitomer, 1991...). Elle apparaît comme l'un des arguments sur lesquels s'appuie la nouvelle orientation. Il faut remarquer à ce sujet que les orientations constructivistes ont montré une grande capacité à intégrer des études très diverses, depuis l'épistémologie contemporaine (Bachelard, Kuhn, Lakatos, Laudan, Toulmin, Feyerabend...) jusqu'aux travaux de Piaget ou Vygotski. Cette convergence de résultats de recherches initialement autonomes renforce, sans aucun doute, la valeur des conceptions constructivistes sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences et a permis l'émergence d'un très large consensus.

Le vieil objectif de rapprocher les activités des élèves de ce qui caractérise la construction de connaissances scientifiques a ainsi pris une nouvelle force en s'appuyant sur une meilleure compréhension de la nature du travail scienti-

fique. Dans ce contexte, plusieurs auteurs ont élaboré des propositions d'enseignement qui, malgré quelques nuances, se rejoignent pour considérer l'apprentissage comme un **changement conceptuel** (Posner et al, 1982 ; Osborne et Wittrock, 1983 ; Pozo, 1989...). Certains de ces auteurs explicitent les conditions qui rendent possible ce changement conceptuel. On peut les résumer ainsi :

conditions pour
le changement
conceptuel

- une phase de *mise à jour* des conceptions des élèves (en faisant apparaître leur plausibilité et leur fécondité dans les contextes habituels) ;
- une phase de *restructuration*, avec la création de *conflits cognitifs* capables de générer l'insatisfaction des élèves par rapport à leurs conceptions et de les préparer à l'introduction des connaissances scientifiques ;
- une phase d'*application* qui fournit aux élèves des occasions pour l'utilisation des nouvelles idées dans des contextes différents.

Le **Tableau 1**, tiré de Driver et Oldham (1986), schématise cette stratégie de changement conceptuel.

Tableau 1. Stratégies d'enseignement centrées sur l'apprentissage comme changement conceptuel

1. **Identification et clarification des représentations des élèves**
2. **Mise en question des idées des élèves en utilisant des contre-exemples (conflits cognitifs)**
3. **Introduction des idées scientifiques, par le professeur ou par des mises en commun collectives**
4. **Utilisation des nouvelles idées dans des contextes différents**

une efficacité
limitée

L'efficacité de ces stratégies de changement conceptuel est attestée par les nombreuses recherches conduites dans différents domaines de l'apprentissage des sciences (Duschl et Gitomer, 1991). Néanmoins, d'autres auteurs ont constaté que certaines conceptions alternatives résistent à l'enseignement, même quand celui-ci est explicitement conçu pour provoquer le changement conceptuel (Shuell, 1987). Ces difficultés, et le souci de mieux fonder le modèle, rendent nécessaire, nous semble-t-il, une analyse plus fine des stratégies d'enseignement proposées.

4. CHANGEMENT CONCEPTUEL VERSUS CHANGEMENT CONCEPTUEL ET MÉTHODOLOGIQUE

une attention
insuffisante aux
formes de
raisonnement

Depuis le début des années 80, nous avons signalé une première et, à notre avis, sérieuse limite des stratégies de changement conceptuel : l'attention insuffisante donnée aux formes de raisonnement associées aux représentations des élèves, oubliant ainsi qu'il ne peut pas y avoir de changement conceptuel sans un changement méthodologique. Nous présentons ici une synthèse des arguments que nous avons exposés plus largement ailleurs (Gil et Carrascosa, 1985 et 1990).

Il existe des ressemblances entre les idées spontanées des élèves dans certains domaines et des conceptions historiques pré-scientifiques.

une
méthodologie
"du sens
commun"

Sans prétendre établir un parallélisme mécanique entre les représentations des élèves et les conceptions pré-scientifiques, il paraît raisonnable de supposer que cette ressemblance n'est pas accidentelle, mais qu'elle résulte d'une façon similaire de traiter les problèmes. Cette hypothèse est appuyée par l'étude comparée du raisonnement des élèves et des caractéristiques de ce qu'on peut nommer "*la physique du sens commun*". On constate, en effet, une même stratégie d'approche des problèmes qui a été qualifiée de "*méthodologie du superficiel*" (Gil et Carrascosa, 1985) ou de "*méthodologie du sens commun*" (Hashweh 1986). Elle se caractérise par l'absence de doutes et de prise en compte de solutions alternatives, par des réponses très rapides et assurées, fondées sur les "évidences" du sens commun ; par des traitements ponctuels qui ne se soucient pas de la cohérence globale dans l'analyse de différentes situations (Champagne et al., 1985) ; par des raisonnements qui suivent une séquence causale linéaire (Closset, 1983 ; Viennot, 1992).

nécessité d'un
profond
changement
épistémologique

Les conceptions pré-classiques n'ont été déplacées que grâce à une nouvelle méthodologie qui combinait la créativité de la pensée divergente avec la rigueur dans la mise à l'épreuve des hypothèses, au moyen d'expériences contrôlées et de la recherche d'une cohérence globale. On peut donc imaginer que les changements conceptuels des élèves exigent également un profond changement méthodologique (ou, si l'on préfère, épistémologique) "pour fonder un savoir contre la *pensée commune*" (Astolfi et al., 1985). Du point de vue historique, ce changement conceptuel et méthodologique ne s'est pas avéré facile, et il est raisonnable de concevoir qu'il en sera de même chez les élèves. C'est uniquement si ceux-ci sont mis *systématiquement* en situation de s'approprier la nouvelle méthodologie (c'est-à-dire, en situation de construire des hypothèses, de concevoir des plans expérimentaux, de réaliser des expériences et d'en analyser

soigneusement les résultats, avec une attention particulière à la cohérence globale, etc) qu'il leur sera possible de dépasser leur méthodologie spontanée de sens commun : *"les notions et les méthodes scientifiques ne s'acquèrent pas en une ou deux fois grâce à des exemples (trop) bien choisis mais ne s'approprient qu'assez lentement, après des renforcements et des régressions apparentes"* (Astolfi et Vérin, 1985).

associer le
changement
conceptuel à un
entraînement à
la démarche
scientifique

Les considérations précédentes impliquent une première critique des stratégies d'enseignement axées sur la production de changements conceptuels. En effet, ces stratégies semblent mettre l'accent presque exclusivement sur la modification des idées. Et si Hewson et Torley (1989) ont raison quand ils affirment qu'un changement conceptuel a ses propres exigences épistémologiques et ne doit pas être considéré comme un simple changement du contenu des conceptions, à notre avis une plus grande insistance sur le fait qu'**un changement conceptuel exige et comporte des changements méthodologiques et épistémologiques** est nécessaire (Gil et Carrascosa, 1985 et 1990 ; Duschl et Gitomer, 1991). C'est la raison pour laquelle les stratégies d'enseignement doivent introduire des activités qui associent le changement conceptuel à un entraînement à la démarche scientifique. Nous devons tenir compte, à ce sujet, du fait que l'un des défauts de l'enseignement des sciences les plus souvent signalés est celui d'être centré presque exclusivement sur les connaissances déclaratives (les "quoi") en oubliant les connaissances procédurales (les "comment"). On ne peut donc pas s'attendre à ce qu'il suffise de parler de changement conceptuel pour que les professeurs prennent en compte les exigences méthodologiques et épistémologiques que cela implique. Bien au contraire, on peut craindre que sans une insistance très explicite et clairement fondée, les activités créatives du travail scientifique - l'invention d'hypothèses, etc - continuent à être pratiquement absentes des classes de science comme elles le sont actuellement.

contre le
réductionnisme
conceptuel

Dans le même sens, Duschl et Gitomer (1991) affirment, en prenant en considération les implications de l'épistémologie contemporaine : *"Si nous devons provoquer une restructuration radicale des conceptions - ce qui constitue l'équivalent à l'échelle de l'individu de l'idée de révolution scientifique de Kuhn - il semblerait que nous devions enseigner aussi les connaissances méthodologiques impliquées"*. Duschl et Gitomer critiquent ainsi, à la suite de Laudan (1984) une vision hiérarchique du changement conceptuel, selon laquelle les changements conceptuels entraîneraient à leur suite des changements méthodologiques et axiologiques. Ils attribuent à cette affirmation erronée la responsabilité du manque d'attention accordée aux aspects méthodologiques et de l'inefficacité relative des stratégies de changement conceptuel.

Une fois encore, nous nous trouvons ainsi devant la nécessité de surmonter des conceptions épistémologiques incorrectes pour rendre possible une transformation effective de l'enseignement des sciences. Cependant, bien que quelques chercheurs aient posé, de façon plus ou moins directe, la question de la relation entre les représentations alternatives et les formes de raisonnement, les stratégies d'enseignement qui visent le changement conceptuel ne semblent pas rapprocher l'activité des élèves de la démarche scientifique. D'une façon explicite tout au moins, elles mettent l'accent presque exclusivement sur les idées que les élèves possèdent et sur les *résultats* de la recherche scientifique, ce qui constitue, répétons-le, une sérieuse limitation et contribue, par ailleurs, à renforcer une vision déformée de la nature des sciences, vision très enracinée chez les élèves (Fillon, 1991) ... et chez les enseignants (Develay, 1989 ; Orlandi, 1991).

Une autre critique importante que l'on peut faire à ces stratégies d'enseignement sera détaillée dans le paragraphe suivant.

5. CHANGEMENT CONCEPTUEL VERSUS TRAITEMENT SCIENTIFIQUE DE SITUATIONS PROBLÉMATIQUES OUVERTES

La séquence pédagogique que proposent les stratégies d'enseignement fondées sur le changement conceptuel, consiste, on s'en souviendra, à faire émerger les idées des élèves, en facilitant leur formulation et leur consolidation - pour, ensuite, créer des conflits qui mettent en question ces idées et introduire les conceptions scientifiques dont la plus grande puissance explicative rendra possible le changement conceptuel. Il est vrai qu'une telle stratégie peut ponctuellement produire des résultats très positifs, en attirant l'attention sur le poids de certaines idées de sens commun acceptées sans critique comme "évidentes". Mais, utilisée d'une façon réitérée, elle génère un rejet et des inhibitions assez compréhensibles. En effet, quel sens cela a-t-il de conduire les élèves à expliciter et à consolider *leurs idées* pour immédiatement les remettre en question? Une construction de connaissances n'a jamais pour but une mise en question d'idées ou un changement conceptuel, mais la **résolution de problèmes** perçus comme tels par les chercheurs (c'est-à-dire, dans notre cas, par les élèves et non seulement par le professeur) : des problèmes qu'on aborde, logiquement, à partir de connaissances déjà existantes et d'idées nouvelles construites à titre d'hypothèse. Dans ce processus, les conceptions initiales pourront changer et même - bien que plus rarement - être radicalement

questionnement
d'idées ou
résolution de
problèmes ?

bouleversées ; mais ceci ne constituera jamais l'objectif, qui sera, répétons-le, la résolution des problèmes posés.

D'un point de vue constructiviste, il est essentiel, à notre avis, d'associer *explicitement* la construction de connaissances à des problèmes. Comme l'a dit Bachelard (1938), "*toute connaissance est la réponse à une question*", et ceci met radicalement en cause les stratégies de changement conceptuel, qui prennent les idées des élèves, nous l'avons vu, comme point de départ.

D'un autre côté, l'une des caractéristiques fondamentales du traitement scientifique des problèmes consiste à considérer les idées qu'on a - même celles qui semblent les plus sûres et les plus évidentes - comme de simples hypothèses de travail qu'il est toujours nécessaire de remettre en question, en imaginant *d'autres* hypothèses, etc. Ceci donne un statut très différent aux situations de conflit cognitif : elles ne représentent plus, pour les élèves, la mise en cause externe de leurs propres idées (avec les implications affectives qui s'en suivent) mais représentent un travail d'approfondissement, au cours duquel certaines idées (prises comme des hypothèses) sont remplacées par d'autres (aussi personnelles que les premières). Il ne s'agit pas, comme on peut le voir, d'éliminer les conflits cognitifs, mais d'éviter qu'ils acquièrent le caractère d'une confrontation entre idées personnelles (erronées) et connaissances scientifiques (extérieures).

C'est pour ces raisons que la stratégie d'enseignement qui nous semble la plus cohérente avec l'orientation constructiviste est celle qui conçoit l'apprentissage comme un **traitement de situations problématiques intéressantes** (Gil et Martinez-Torregrosa, 1987 ; Gil et al, 1991). Un résumé de cette stratégie d'enseignement est présenté ci-après dans le **Tableau 2**.

Dans les quatre phases qui schématisent la stratégie d'enseignement proposée, nous avons essayé d'intégrer certains aspects essentiels de l'activité scientifique mis en relief par l'histoire et la philosophie des sciences, mais trop souvent oubliés dans l'enseignement des sciences. Nous nous référons, notamment, aux questions de contextualisation du travail scientifique (relations Sciences-Techniques-Société, prise de décisions...) et aux composantes affectives (intérêt pour la tâche, relations interpersonnelles...).

Une stratégie d'enseignement comme celle que nous proposons peut être qualifiée de **radicalement constructiviste** parce qu'elle prévoit une participation effective des élèves à la construction de leurs connaissances et non la simple reconstruction subjective des connaissances fournies par le professeur ou par les textes. Mais dans quelle mesure ne s'agit-il pas d'une simple utopie ? Est-il raisonnable d'espérer que des élèves puissent construire par eux-mêmes toutes les connaissances qui ont exigé tant de temps et d'efforts de la part des chercheurs les plus compétents ?

un nouveau statut pour les situations de conflit cognitifs

Comment le travail en classe est-il conçu ? Le modèle proposé n'exigerait-il pas que les élèves passent une grande partie de leur temps dans un laboratoire scientifique (ce qui ne prend pas en compte les contraintes du système éducatif) ? Pourquoi ne pas accepter une pluralité d'approches avec des moments de recherche (de construction de connaissances) à côté d'autres moments de réception (à travers, par exemple, la lecture ou un exposé) ? Toutes ces questions et bien d'autres sont posées par les professeurs et les chercheurs eux-mêmes, et montrent la nécessité d'une plus grande précision dans la définition du modèle.

**Tableau 2. Stratégies d'enseignement
pour un apprentissage par la recherche**

- 1. Poser des situations problématiques** qui - en tenant compte des idées, de la vision du monde, des savoir-faire et des attitudes des élèves - génèrent de l'intérêt et facilitent une conception préliminaire de la tâche.
- 2. Proposer aux élèves l'étude qualitative des situations problématiques** posées et la prise de décisions nécessaire pour définir des problèmes précis (ce qui devient une occasion pour qu'ils commencent à expliciter, mais de *façon fonctionnelle*, leurs idées).
- 3. Organiser le traitement scientifique des problèmes posés**, ce qui comporte, entre autres :
 - l'invention de concepts et l'émission d'hypothèses (occasion pour utiliser les préconceptions afin de faire des prédictions) ;
 - l'élaboration de stratégies de résolution - en incluant, le cas échéant, des plans expérimentaux - afin de mettre à l'épreuve les hypothèses à la lumière des connaissances dont on dispose ;
 - la résolution et l'analyse des résultats, en les confrontant avec les résultats obtenus par d'autres équipes d'élèves et par la communauté scientifique. Ceci peut devenir occasion de conflit cognitif entre des conceptions différentes (traitées comme des hypothèses), obliger à concevoir de nouvelles solutions possibles, etc.
- 4. Proposer le maniement réitéré des connaissances nouvelles dans des situations diverses** pour rendre possible leur approfondissement et leur consolidation, en donnant une importance particulière aux relations Sciences/Techniques/Société qui encadrent le développement scientifique, en entraînant les élèves aux prises de décision à ce sujet, l'objectif à travers ces activités étant de mettre en évidence la cohérence du corpus de connaissances que possède une science.
Favoriser, tout particulièrement, les activités de synthèse, l'élaboration de produits (susceptibles de rompre avec des approches trop scolaires et de renforcer l'intérêt pour la tâche) et la conception de nouveaux problèmes.

Nous consacrerons le paragraphe suivant à montrer de façon plus précise comment nous concevons cette orientation de l'apprentissage des sciences physiques par l'investigation. Mais nous voulons au préalable insister sur le fait que l'idée de rapprocher le travail des élèves des caractéristiques du travail scientifique est partagée par un nombre croissant de chercheurs - malgré des nuances et quelques divergences - et que nos propositions convergent, en dépit de l'emploi d'une terminologie différente, avec des courants de recherche français (Host, 1973 ; Giordan, 1978, Martinand, 1984 ; Astolfi et Develay, 1989 ; Goffard, 1990...) et anglosaxons (Hodson, 1988 ; Burbules et Linn, 1991 ; Wheatley, 1991...). Notre proposition se différencie en particulier par le niveau sur lequel nous avons choisi de nous centrer : le deuxième cycle de l'enseignement secondaire. L'enseignement de la physique à ce niveau est de nature différente, à notre avis, de l'enseignement destiné à des élèves plus jeunes. Son objectif est la construction de connaissances scientifiques proprement dites, avec leurs caractéristiques de cohérence globale, et le modèle d'enseignement correspondant doit se spécifier en conséquence.

6. L'APPRENTISSAGE DES SCIENCES PAR L'INVESTIGATION

Le modèle d'apprentissage par une activité de recherche que nous proposons a comme première caractéristique, comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent (voir notamment le Tableau 2) d'être centré sur le traitement de situations problématiques ouvertes à travers lesquelles les élèves peuvent participer à la construction des connaissances. Une première question que cela soulève est celle de la capacité des élèves à refaire un travail qui a demandé aux chercheurs les plus compétents beaucoup de temps et d'efforts.

6.1. Les élèves comme chercheurs novices

Il est certain qu'un grand nombre des concepts centraux de la science sont assez difficiles à construire par la majorité - pour ne pas dire la totalité - des adolescents et même des adultes universitaires. Cependant, ceci n'implique pas qu'on doive nécessairement recourir à la transmission/réception de ces connaissances.

En effet, il est bien connu que lorsque quelqu'un s'incorpore à une équipe de chercheurs, il peut atteindre assez rapidement le niveau moyen des autres membres de l'équipe, non au moyen d'une transmission verbale, mais grâce à la reproduction de recherches dans des domaines bien connus des chercheurs confirmés.

ni simples
récepteurs ni
chercheurs
autonomes

La situation change, certainement, quand on étudie des problèmes qui sont nouveaux pour tous. Le progrès, s'il y en a, est lent et sinueux.

La proposition d'organiser l'apprentissage comme une construction de connaissances répond à la première de ces situations, c'est-à-dire à celle d'une recherche dirigée, dans des domaines parfaitement connus par le "directeur de recherche" (le professeur) et dans laquelle les résultats partiels, embryonnaires, des élèves, peuvent être renforcés, nuancés ou remis en question par ceux qui ont été obtenus par la communauté scientifique.

le professeur
comme
"directeur de
recherche"

Il ne s'agit donc pas de faire croire aux élèves que les connaissances ont été construites par les hommes et femmes de science avec l'apparente facilité avec laquelle ils les apprennent (Hodson 1985), mais de les mettre dans une situation de "chercheurs novices", au cours de laquelle ils pourront acquérir une certaine formation à la démarche scientifique, en reproduisant des recherches, c'est-à-dire en étudiant des problèmes bien connus par ceux qui dirigent leurs travaux.

L'orientation constructiviste de l'apprentissage des sciences doit répondre à ces caractéristiques de recherche dirigée : un travail de recherche pendant lequel on confronte constamment les résultats obtenus par les différentes équipes et pour lequel on compte tout le temps sur l'aide d'un expert.

un travail collectif
de recherche
dirigée

Nous ne croyons pas nécessaire d'insister ici sur les arguments bien fondés en faveur du travail en petits groupes, travail qui permet d'augmenter la participation et la créativité nécessaires pour traiter des situations ouvertes non familières, comme le sont les situations conçues pour rendre possible la construction de connaissances. Nous voulons, par contre, attirer l'attention sur l'importance des interactions entre les groupes (Astolfi et Vérin, 1985 ; Gil et Martinez-Torregrosa, 1987a ; Wheatley, 1991...), qui permettent aux élèves de prendre conscience de l'une des caractéristiques essentielles du travail scientifique : l'insuffisance des résultats obtenus par un seul groupe et la nécessité de les confronter avec ceux obtenus par d'autres équipes jusqu'à l'obtention d'une convergence suffisante pour que la communauté scientifique les accepte. En effet, on n'insistera jamais suffisamment sur le fait qu'un petit nombre de résultats comme ceux qu'on peut obtenir dans un laboratoire scolaire ne permettent pas de parler d'acceptation d'hypothèses (Hodson 1985) : d'où l'importance des échanges inter-groupes et de la participation du professeur comme "porte-parole de beaucoup d'autres chercheurs", c'est-à-dire représentant de ce que la communauté scientifique a accepté comme résultat à la suite d'un processus souvent long et difficile. Nous sommes donc d'accord avec Pozo (1987) quand il affirme qu'"il s'agit de faire en sorte que l'élève construise sa propre science sur le dos de géants et

non pas d'une façon autiste". Nous ne pensons pas, cependant, que cela puisse être favorisé par "*l'intégration des apprentissages par découverte et par réception*" (Poizo, 1987), mais cela nécessite, à notre avis, un travail collectif de recherche dirigée, aussi éloigné de la découverte autonome que de la transmission d'un corpus achevé de connaissances (Gil, 1983 ; Millar et Driver, 1987). Autrement dit, entre la métaphore de l'élève comme simple récepteur et celle qui, selon Kelly, considère que tout enfant est un "chercheur-né" (Pope et Gilbert 1983), nous proposons la métaphore du "chercheur novice" qui ajoute en les intégrant de façon cohérente les apports de Vygotski sur la "zone proximale de développement" et le rôle de l'adulte dans l'apprentissage.

trois éléments
essentiels d'une
orientation
constructiviste

Les situations problématiques ouvertes, le travail scientifique en équipes de chercheurs novices et l'interaction des équipes entre elles et avec des experts, deviennent ainsi trois éléments essentiels d'une orientation constructiviste "radicale" de l'apprentissage des sciences (Gil et Martinez-Torregrosa, 1987a ; Wheatley, 1991).

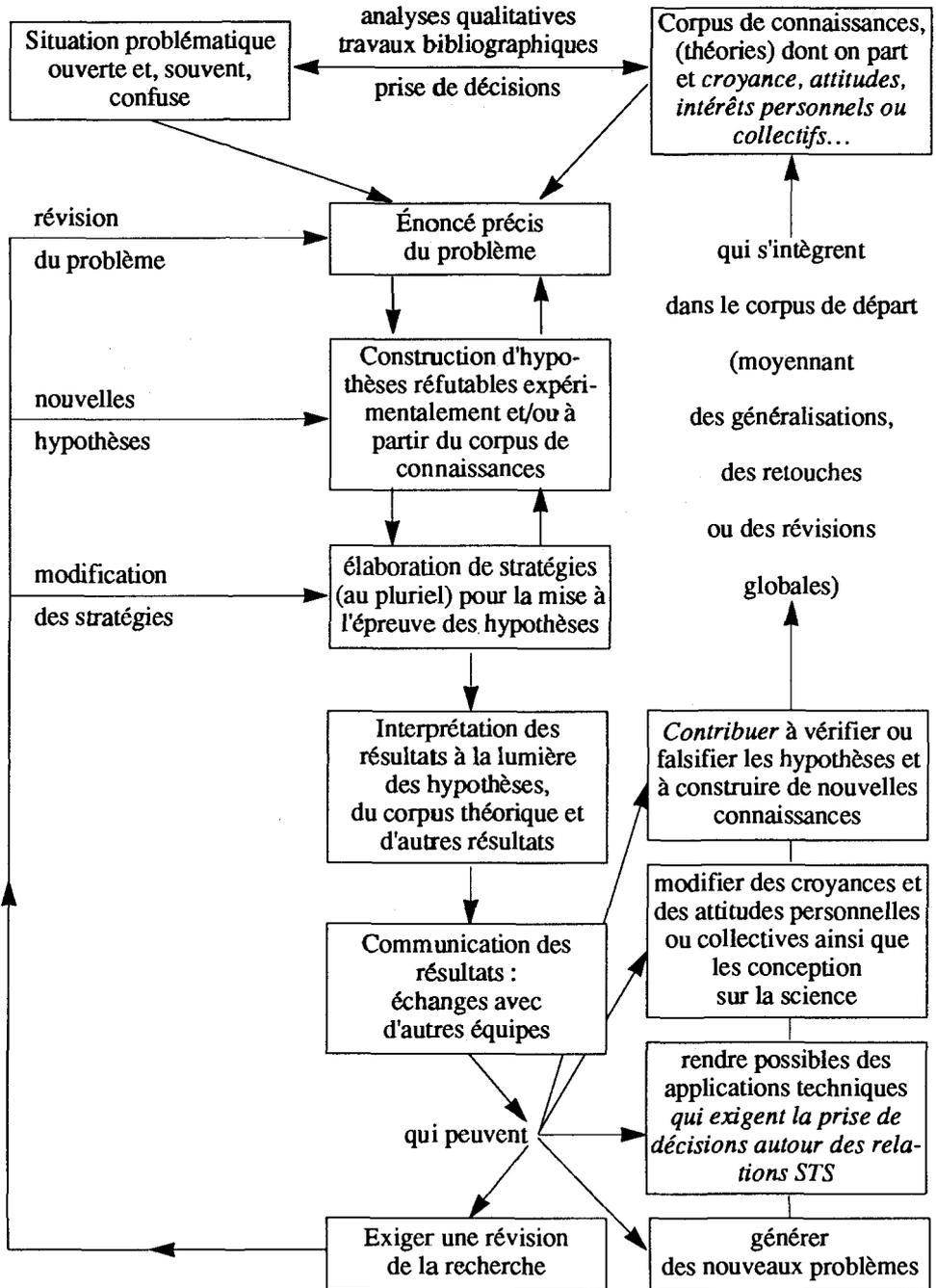
6.2. L'activité scientifique se réduit-elle au travail expérimental ?

Une autre préoccupation souvent manifestée par un bon nombre de professeurs et de chercheurs est que le modèle semble privilégier le travail de laboratoire (en oubliant les contraintes du système éducatif) et négliger le rôle de la lecture ou des exposés dans l'apprentissage. Ces commentaires méritent une réponse approfondie, capable de venir à bout des préjugés légitimes face à un soi-disant "chemin unique" qui rejeterait ou ignorerait d'autres apports possibles.

contre les visions
simplistes du
travail
scientifique

En premier lieu, il faut insister sur les visions réductionnistes du travail scientifique sous-entendues par ces questions. Comment peut-on imaginer qu'une stratégie d'investigation laisse de côté la lecture, quand nous savons qu'un chercheur emploie plus de la moitié de son temps à lire ? Et comment supposer que la recherche puisse exclure l'écoute des autres, si les présentations, les débats sont constants au sein de n'importe quel groupe et constituent des formes privilégiées de communication dans l'ensemble de la communauté scientifique ? Il est nécessaire de transformer ces visions réductionnistes et extrêmement simplistes de la démarche scientifique et d'accepter sa nature d'activité ouverte et complexe qui inclut, *comme des aspects essentiels*, la lecture et la communication. Pour répondre à ces conceptions, très répandues chez les enseignants, nous présentons le diagramme d'un processus d'investigation dans la **Figure 1** (voir page suivante).

Figure 1. Diagramme d'un processus de recherche
 Représentation schématique d'une activité collective extraordinairement complexe



contre
l'éclectisme

Cette reconnaissance de l'importance d'activités comme la lecture, traditionnellement associées au modèle de transmission/réception ne doit pas, pourtant, faire penser à un éclectique "tout est bon". Dans une perspective d'enseignement/apprentissage qui s'inspire du travail scientifique, lire un texte ou écouter un exposé sont des activités qui ne se réduisent pas à la réception d'une connaissance déjà élaborée, mais qui sont associées, par exemple, à une recherche bibliographique destinée à préciser un problème ou à fonder une hypothèse, à la confrontation de son propre travail avec d'autres résultats et points de vue. Il s'agit donc d'activités inhérentes au traitement de situations problématiques et non, nous y insistons, de moments de simple réception qui *se combineraient* avec d'autres moments de recherche.

Il faut souligner, d'un autre côté, qu'une orientation comme celle que nous proposons exige la transformation des activités fondamentales de l'apprentissage des sciences - depuis l'introduction de concepts jusqu'aux travaux de laboratoire, en passant par la résolution de problèmes papier/crayon, sans oublier l'évaluation - pour qu'elles deviennent occasion de construction de connaissances et de familiarisation avec le raisonnement scientifique. Nous voulons en particulier insister ici sur le fait que démarche scientifique ne signifie pas nécessairement travail expérimental : la résolution de problèmes papier/crayon ou l'introduction de concepts demandent aussi, dans une optique constructiviste, une approche scientifique. Nous renvoyons, en ce qui concerne les problèmes papier/crayon, aux articles où nous avons présenté leur transformation en activités de recherche, ainsi que les résultats obtenus avec des élèves du secondaire et des professeurs de Lycée (Gil et Martinez-Torregrosa, 1987b ; Gil et al., 1990...). Nous avons également montré, en particulier, la possibilité, ou plutôt la nécessité, d'associer l'introduction de concepts au traitement de situations problématiques qui demandent des approches qualitatives, l'invention de grandeurs opératoires à titre d'hypothèses, dont la validité dépend de la cohérence du corpus de connaissances que l'on parvient à construire (Gil et al., 1991). Mais il ne s'agit pas de concevoir l'apprentissage comme le résultat cumulatif d'une série d'activités disjointes (introduction de concepts, travaux de laboratoire, problèmes papier/crayon...). La construction d'un corpus cohérent de connaissances exige un véritable **programme de recherche** capable de guider le travail des élèves.

6.3. La transformation du curriculum en programmes d'activités de recherche

Comme nous l'avons déjà dit, la métaphore qui guide notre modèle d'enseignement/apprentissage des sciences est celle qui conçoit les élèves comme des chercheurs novices et le professeur comme un expert capable de diriger les travaux de recherche des élèves (qui, en fait, vont refaire de travaux

bien connus par le professeur). Cette situation, très éloignée, bien sûr, des recherches faites dans des domaines absolument inconnus pour tous les chercheurs, permet d'éviter les processus excessivement erratiques et les apprentissages sans relations entre eux. Le professeur peut préparer un véritable **programme d'activités** pour orienter et prévoir le travail des élèves. Comme il a été signalé par Driver et Oldham (1986), l'implication la plus importante du modèle constructiviste en ce qui concerne la conception du curriculum est peut-être de *"ne pas concevoir le curriculum comme un ensemble de savoirs et de savoir-faire, mais comme le programme d'activités à travers lesquelles ces savoirs et savoir-faire peuvent être construits et acquis"*.

l'élaboration des programmes d'activités comme recherche appliquée

Il est vrai qu'un tel programme peut devenir un "carcan" et mener les élèves "par le bout du nez", mais seulement si les activités n'ont pas été correctement conçues pour prévoir le cheminement de la recherche. Après tout, les élèves vont *refaire* des recherches qui doivent être très bien connues par le professeur, et ceci facilite un guidage souple, qui n'empêche pas les élèves de proposer leurs essais de constructions. Bien sûr, il n'y a pas de recettes pour garantir qu'un programme d'activités donné fonctionne bien : sa conception constitue un travail de recherche appliquée (Driver et Oldham, 1986) qui doit tenir compte des résultats de l'investigation didactique et qui doit être soumis à un contrôle expérimental. De ce point de vue, un programme d'activités est toujours à (ré)élaborer, à soumettre à des retouches, à des additions et, parfois, à de complets remodelages, à la suite des résultats obtenus par son application et des apports nouveaux de la recherche didactique. On trouvera ci-après (**Document 1**) un exemple de ces programmes d'activités, correspondant à l'introduction à la chimie organique pour des élèves de lycée (16 ans).

favoriser le travail collectif

Il est particulièrement important de veiller à ce que l'ensemble des activités donne une vision correcte du travail scientifique, en évitant les réductionnismes habituels. Nous avons élaboré à ce propos une grille d'analyse qui nous a été très utile pour détecter des insuffisances de ce genre dans les programmes d'activités prévisionnels et dans leur application dans la classe (voir **Tableau 3**).

La mise en oeuvre des programmes d'activités dans la classe est présidée par l'idée de favoriser un travail collectif de deux façons : en organisant la classe en petits groupes qui travaillent successivement les activités et en rendant possibles les échanges entre les groupes. Pour cette raison, la forme de travail que nous proposons diffère de celle qui est habituelle dans les classes organisées en petits groupes et qui consiste à proposer des tâches d'une certaine étendue pour que chaque groupe travaille de façon autonome, avec des aides occasionnelles qu'il peut solliciter du professeur et avec une mise en commun à la fin du travail.

Tableau 3. Grille d'analyse de la présence d'activités propres à la démarche scientifique

1. * Présente-t-on des **situations problématiques ouvertes** (pour que les élèves puissent prendre des décisions et formuler des problèmes précis)?
2. * Demande-t-on une réflexion sur l'**intérêt possible des situations proposées** qui donne du sens à leur étude (en considérant, par exemple., leur relation avec le programme général de recherches, les applications possibles en Sciences-Techniques-Société, etc) ?
 - * Prête-t-on attention, en général, à la création d'attitudes positives et à ce que le travail ait lieu dans une ambiance de recherche collective (dans laquelle les opinions, intérêts, etc de chaque individu ont de l'importance) et non dans un climat de soumission à des tâches imposées par un "professeur-contremaître" ?
3. * Propose-t-on la réalisation d'**analyses qualitatives** qui aident à comprendre et à préciser les situations proposées (à la lumière des connaissances disponibles, de l'intérêt des problèmes, etc) et à formuler des questions pertinentes sur ce que l'on cherche ?
4. * Demande-t-on la **construction d'hypothèses fondées** susceptibles d'orienter le traitement des situations et de **faire expliciter, d'une façon fonctionnelle, les préconceptions** ?
 - * Présente-t-on, tout au moins, des hypothèses aux élèves pour discussion ?
 - * Fait-on attention aux préconceptions ?
5. * Demande-t-on l'**élaboration de stratégies** (au pluriel) pour la mise à l'épreuve des hypothèses, en incluant, le cas échéant, des montages expérimentaux ?
 - * Propose-t-on, tout au moins, l'évaluation critique de stratégies expérimentales ?
 - * Donne-t-on de l'importance à l'activité pratique en elle-même (mesures, construction de montages expérimentaux...)?
6. * Demande-t-on l'**analyse soigneuse des résultats** (interprétation physique, fiabilité...) à la lumière du corpus de connaissances disponible, des hypothèses construites et/ou des résultats d'autres auteurs ?
 - * Introduit-on la prise en considération des conflits éventuels entre les résultats et les conceptions initiales ?
 - * Favorise-t-on l'auto-régulation du travail des élèves ?
7. * Demande-t-on la prise en considération des **perspectives ouvertes** éventuelles (révision des études à d'autres niveaux de complexité, problèmes associés...)?
 - * Considère-t-on, en particulier, les implications Sciences-Techniques-Société des études effectuées (applications possibles, retombées nuisibles...)?
8. * Demande-t-on des **efforts d'intégration** en considérant la contribution des études réalisées à la construction d'un corpus cohérent de connaissances, en examinant les implications possibles dans d'autres domaines... ?
 - * Demande-t-on la construction de synthèses, cartes conceptuelles, etc, qui mettent en relation des connaissances diverses ?
9. * Demande-t-on l'**élaboration et la présentation de comptes-rendus et de mémoires scientifiques** du travail réalisé ?
 - * Demande-t-on, tout au moins, la lecture critique de textes scientifiques ?
 - * Essaie-t-on de promouvoir la verbalisation, en demandant des commentaires significatifs qui évitent la réalisation "muette" ?
- 10.* Privilégie-t-on la **dimension collective du travail scientifique**, en organisant des équipes de travail et en facilitant l'interaction des équipes avec la communauté scientifique - représentée dans la classe par les autres équipes, le professeur comme expert, le corpus de connaissances déjà construit... ?
 - * Fait-on voir, en particulier, que le travail d'une seule personne ou d'une seule équipe ne suffit pas pour tester une hypothèse ?
 - * Demande-t-on le maniement fonctionnel du corpus de connaissances accepté par la communauté (pour fonder des hypothèses, analyser des résultats...)?

Document 1. Un exemple de programme d'activités de recherche pour l'apprentissage des sciences

LA CHIMIE DU CARBONE: UN NOUVEAU NIVEAU D'ORGANISATION DE LA MATIÈRE

1. INTRODUCTION: POURQUOI DONNER UNE ATTENTION SPÉCIALE A LA CHIMIE DU CARBONE?

Il peut sembler étrange que l'on consacre un chapitre à la chimie d'un seul élément dans un cours comme celui-ci destiné à introduire les aspects fondamentaux des sciences physico-chimiques. Il existe néanmoins, comme nous allons voir, de très puissantes raisons pour cela.

A.1. Préparez une liste de substances et matériaux qui contiennent, à votre avis, du carbone dans leur composition (de façon à se faire une première idée de l'importance de cet élément).

Commentaires A.1. L'examen des listes produites par les différentes équipes, permet de mettre en relief le rôle fondamental que le carbone joue chez les êtres vivants. Le professeur peut préciser que, bien qu'il ne soit pas un des éléments les plus abondants dans l'écorce terrestre (moins de 1%), on connaît beaucoup plus de composés du carbone que de composés de l'ensemble des autres éléments (à l'exception de l'hydrogène, qui est combiné à lui dans la presque totalité de ses composés). D'un autre côté, il vaut mieux ne pas trop insister, dans ce premier moment, sur l'abondance et l'importance des produits synthétiques à base de carbone, de façon à ne pas interférer avec la réalisation des activités A.3 et A.4.

A.2. Nous venons de voir qu'un très grand nombre de produits naturels ont du carbone dans leur composition, accompagné, en général, par l'hydrogène. Exposez des procédures simples qui permettent de détecter la présence de proportions élevées de C et H dans ces produits.

Commentaires A.2. Les élèves font référence à la facilité de combustion de ces produits, avec formation de CO_2 , H_2O et quelques résidus solides. Très souvent, les élèves se réfèrent également aux effets d'un fort échauffement sans combustion ("comme celui qui se produit quand on oublie quelque chose au four") qui conduit à la carbonisation, c'est-à-dire à un résidu important de charbon. Le professeur peut encourager à concrétiser les procédures d'analyse et à les mettre à l'épreuve. Ceci permet d'éviter un traitement purement verbal, en donnant lieu à des essais qualitatifs qui établissent des relations avec des phénomènes de la vie quotidienne.

A.3. Le très grand nombre de composés du carbone présents dans les êtres vivants et la complexité de leur composition conduit à ce qui est connu sous le nom de "théorie vitaliste". Selon cette théorie, il existerait une véritable barrière entre les composés minéraux ou "inorganiques" et ceux des êtres vivants ou "organiques". Ces derniers ne pourraient pas être synthétisés au laboratoire et procéderaient d'une "force vitale" possédée uniquement par les êtres vivants. Commentez cette conception vitaliste et suggérez, en particulier, des stratégies possibles pour sa mise à l'épreuve.

Commentaires A.3. Cette activité peut être très utile pour discuter de l'importance des idéologies dans le travail scientifique et questionner la vision stéréotypée et profondément erronée de "l'objectivité des savants". En fait, derrière ce débat sur la possibilité ou non de synthétiser les composés organiques, on trouve la confrontation entre les conceptions créationnistes et fixistes. Il est essentiel de mettre en relief ces implications idéologiques qui correspondent souvent aux aspects les plus polémiques et passionnants du travail scientifique.

A.4. La théorie vitaliste constitue un exemple très clair d'une attitude idéologique qui s'est systématiquement opposée, tout au long de l'histoire des sciences, à une conception unitaire de la matière. Rappelez d'autres "barrières" semblables et commentez leur influence.

Commentaires A.4. Cette activité facilite l'évocation de la lutte de la science pour la liberté de pensée et d'action. Les élèves font ainsi référence aux conceptions scholastiques - qui introduisaient une séparation très nette entre les mondes sublunaire et supralunaire - et à tout le débat entre géocentrisme et héliocentrisme, associé aux condamnations de l'inquisition, etc. Ils mentionnent aussi le rejet de l'origine animale de l'homme et de l'évolutionisme en général. Le professeur peut rappeler l'inclusion des travaux de Darwin -en plein dix-neuvième siècle ! - dans l'Index Librorum Prohibitorum.

A.5. Après l'effondrement de la théorie vitaliste, la synthèse des composés organiques se généralisa et conduisit à l'obtention au laboratoire de substances naturelles de plus en plus complexes et à la création d'autres substances nouvelles. Commentez l'importance de la synthèse organique, en donnant des exemples illustratifs de son intérêt... et de ses dangers.

Commentaires A.5. C'est maintenant le moment de mettre en relief l'importance de la synthèse organique, avec une production qui va des insecticides aux plastiques, en passant par les fibres artificielles, médicaments, colorants... Les élèves mentionnent beaucoup de ces exemples et se réfèrent également aux problèmes causés par les nouvelles substances (trou d'ozone...). Le professeur peut compléter les apports des élèves en faisant référence à des aspects qui échappent souvent à leur analyse, comme la révolution agricole que les plastiques ont rendu possible, par exemple.

2. SPÉCIFICITÉ DE LA CHIMIE DU CARBONE

L'indéniable unité de toute la matière - dont les principes de conservation et de transformation constituent l'expression quantitative - ne doit pas masquer l'existence de différents niveaux d'organisation, chacun gouverné par des lois propres, non réductibles à celles du niveau inférieur. On ne peut pas nier, dans ce sens, qu'il existe une différence qualitative entre la chimie du carbone et celle des autres éléments ; une différence qui, bien qu'explicable par les mêmes principes de structure électronique qui justifient les propriétés de n'importe quel élément, mérite d'être mise en relief.

A.6. Considérez la structure électronique du carbone et essayez d'expliquer les immenses possibilités de combinaison de cet élément avec l'hydrogène et avec soi-même, pour former des chaînes de longueur variable, avec ou sans ramifications, etc.

....

Nous présentons ici, à titre d'exemple, un extrait d'un programme d'activités de recherche (indiquées par A.1, A.2, ...) accompagnées de quelques commentaires pour les professeurs, qui sont le fruit de l'expérimentation de ce programme avec des élèves de lycée (Calatayud, Gil et al 1990).

Note : Le programme comporte une vingtaine d'activités qui vont de la prédiction de formules, la construction de modèles moléculaires et l'étude des propriétés de quelques substances organiques communes (éthanol, glucose...) à la fabrication de savon ou à la discussion du rôle de la chimie organique dans les processus vitaux.

Ce système présente à notre avis quelques inconvénients, tels que :

- la rupture de l'unité de la classe à cause des différents rythmes de travail des groupes, ce qui se traduit, quand les tâches sont longues, par des déphasages difficiles à récupérer ;
- le danger de désorientation des élèves, étant donné que certaines activités exigent la réalisation correcte des activités précédentes ;
- la difficulté pour le professeur à satisfaire les demandes d'aide des petits groupes, qui sollicitent souvent cette aide simultanément et à propos de questions différentes.

Ces inconvénients et, surtout, la volonté de rendre possibles des échanges fréquents entre les équipes nous ont conduits à une forme de travail plus structurée selon laquelle une mise en commun est organisée *après chaque activité*. Cela permet au professeur de reformuler les apports de chacun et d'en faire la synthèse, d'ajouter des informations complémentaires et d'orienter l'activité suivante. Il va de soi que ces mises en commun ne doivent pas, en général, être trop longues.

Nous utilisons pour cela des techniques différentes : soit une transcription simultanée des réponses des groupes au tableau noir, soit un bref exposé d'un seul groupe, que les autres équipes complètent et critiquent si nécessaire. En tout cas, le professeur doit jouer un rôle très actif et ordonner les interventions, les reformuler, etc.

veiller à l'unité de
la classe

Il faut ajouter à ce propos qu'il ne convient pas d'attendre que tous les groupes aient fini pour passer à la mise en commun, puisque cela pourrait nuire au rythme de la classe et provoquer un manque d'attention et même de l'ennui. En réalité la mise en commun permet de compléter, le cas échéant, le travail des groupes en retard. Le professeur doit donc être attentif au travail des groupes et savoir passer à la discussion générale au moment opportun.

Il se peut que le travail des groupes soit inefficace - peut-être parce que l'activité n'était pas bien conçue, ce qui rend sa modification nécessaire - ou bien encore, et cela arrive assez souvent, que les résultats soient incomplets et que le professeur doive, avec ses reformulations, renforcer le travail des élèves, ajouter de l'information, etc. Mais, comme cette information arrive en réponse à des problèmes que les groupes se sont déjà posés, elle est significative pour eux.

Signalons enfin qu'un développement efficace des programmes de recherche proposés aux élèves rend absolument nécessaire un changement du climat de la classe, qui modifie l'habituelle atmosphère de contrôle autoritaire, bien éloignée des situations de recherche scientifique (Gil et al., 1991 ; Tippins et al., 1992).

7. A TITRE DE CONCLUSION : L'ENSEIGNEMENT COMME ACTIVITÉ DE RECHERCHE

L'apprentissage des disciplines scientifiques par la recherche, avec les caractéristiques que nous venons de présenter, est évalué systématiquement de façon très positive par les professeurs qui participent à des séminaires et à des cours conçus pour faire reconstruire le nouveau modèle.

Parfois, pourtant, apparaît une question qui exprime une réelle préoccupation des professeurs : *comment exiger d'un professeur tous les savoirs et savoir-faire que cette orientation demande?* Pensons, par exemple, aux difficultés de traduction du curriculum en programmes d'activités susceptibles d'intéresser les élèves et de faciliter un travail effectif de construction de connaissances.

C'est vrai, sans doute, qu'aucun professeur ne peut accomplir une tâche de cette envergure... mais c'est la question-même qui manque de sens. En effet, n'importe quelle étude sur la méthodologie et l'épistémologie des sciences met en évidence, pour le travail scientifique, des exigences au moins aussi vastes et complexes que celles que nous venons de considérer. Pourtant aucun chercheur n'est censé posséder l'ensemble des savoirs nécessaires au traitement scientifique des problèmes : on sait très bien qu'il s'agit d'une tâche collective.

De la même façon, l'enseignement n'est pas, ou plutôt, ne devrait pas être, une tâche individuelle, et aucun professeur ne devrait se sentir accablé par l'exigence d'un ensemble de savoirs qui, sans doute, dépasse les possibilités d'un être humain. Il faut un travail collectif dans tout le processus de l'enseignement, depuis la programmation des activités jusqu'à l'évaluation.

Si l'on adopte ce point de vue, la complexité de l'enseignement n'est plus considérée comme un obstacle et une cause de découragement. Elle devient au contraire une invitation à rompre avec l'inertie d'un enseignement monotone et à profiter de la créativité ouverte par ce nouveau modèle d'enseignement/apprentissage des sciences.

De cette façon, le problème du manque d'intérêt pour leur profession de bon nombre de professeurs - qui est en train de provoquer une sérieuse crise de recrutement dans de nombreux pays - pourra trouver une solution analogue à celle qui est proposée pour les élèves. L'implication dans des tâches ouvertes et créatives, les échanges entre équipes d'enseignants, la diffusion d'expériences innovatrices constituent en somme un travail collectif d'innovation et de recherche de type scientifique.

Ceci correspond à tout un programme de formation des enseignants que nous ne pouvons évidemment pas détailler ici, mais qui représente un élément absolument essentiel de ce modèle d'apprentissage des sciences par l'activité de recherche.

Daniel GIL-PÉREZ
Université de Valence, Espagne

L'auteur tient particulièrement à remercier Anne Vérin (INRP, Paris) pour sa contribution à cet article. Sa collaboration, très appréciée, a permis de préciser les convergences et de clarifier les points de vue.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ASTOLFI J.P et al. (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales* (INRP : Paris).

ASTOLFI J.P et DEVELAY M (1989). *La didactique des sciences* (PUF : Paris).

ASTOLFI J.P et VÉRIN A (dir) (1985). *Formation scientifique et travail autonome* (INRP : Paris).

AUSUBEL D.P (1968). *Educational Psychology : A cognitive view*. (Holt, Rinehart and Winston, Inc : New York).

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

BURBULES N et LINN M (1991). "Science education and philosophy of science : congruence or contradiction ?" *In* : *International Journal of Science Education*, 13 (3), 227-241.

CHAMPAGNE A.B, GUNSTONE R.F et KLOPPER L.E (1985). "Effecting changes in cognitive structures among physics students". *In* : West L.H.T. and Pines A.L. (Eds). *Cognitive structure and conceptual change*. (Orlando. FL : Academic Press).

CLOSSET J.L (1983). "D'où proviennent certaines erreurs rencontrées chez les élèves et les étudiants en électrocinétique... ?". *In* : *Bulletin de l'Union des physiciens*, 657, 81-102.

DEVELAY M (1989), "Sur la méthode expérimentale". *In* : *Aster*, 8, 1-15.

DRIVER R et OLDHAM V (1986). "A constructivist approach to curriculum development in science". *In* : *Studies in Science Education*, 13, 105-122.

- DUSCHL R et GITOMER D (1991), "Epistemological perspectives on conceptual change : implications for educational practice". *In* : *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 839-858.
- FILLON P (1991), "Histoire des sciences et réflexion épistémologique des élèves". *In* : *Aster*, 12, 91-120.
- GIL D (1983). "Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias". *In* : *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), 26-33.
- GIL D et CARRASCOSA J (1985). "Science learning as a conceptual and methodological change". *In* : *European Journal of Science Education*, 7 (3), 231-236.
- GIL D et CARRASCOSA J (1990). "What to do about science misconceptions?". *In* : *Science Education*, 74 (4).
- GIL D, CARRASCOSA J, FURIO C et MARTINEZ-TORREGROSA J (1991), *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. (Horsori : Barcelona).
- GIL D, DUMAS-CARRÉ A, CAILLOT M et MARTINEZ-TORREGROSA J (1990), "Paper and pencil problem solving in the Physical Sciences as an activity of research". *In* : *Studies in Science Education*, 18, 137-151.
- GIL D et MARTINEZ-TORREGROSA J (1987a), "Los programasguia de actividades : una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias". *In* : *Investigación en la Escuela*, 3, 3-12.
- GIL D et MARTINEZ-TORREGROSA J (1987b), "La résolution de problèmes comme instrument de changement conceptuel et méthodologique". *In* : *Petit X*, 14-15, 25-38.
- GIORDAN A (1978). "Observation - Expérimentation : mais comment les élèves apprennent-ils?". *In* : *Revue Française de Pédagogie*, 44, 66-73.
- GOFFARD M (1990). *Modes de travail pédagogiques et résolution de problèmes en physique*. Thèse (Université Paris 7 : Paris).
- GRUENDER C.D et TOBIN K (1991), "Promise and prospect". *In* : *Science Education*, 75(1), 1-8.
- HASHWEH M,Z (1986). "Towards an explanation of conceptual change". *In* : *European Journal of Science Education*, 8 (3), 229-249.
- HEWSON P,W et THORLEY N,R (1989). "The conditions of conceptual change". *In* : *International Journal of Science Education*, Vol 11, special issue, 541-553.
- HODSON D (1985). "Philosophy of science, science and science education". *In* : *Studies in Science Education*, 12, 25-57.

HODSON D (1988) "Towards a philosophically more valid science curriculum". *In* : *Science Education*, 72(1), 19-40.

HOST V (1973). *Activités d'éveil scientifique à l'école élémentaire. 1. Objectifs, méthodes et moyens.* (INRP : Paris).

LAUDAN L (1984), *Science and values : the aims of science and their role in the scientific debate* (University of California Press : Berkeley).

MARTINAND J,L (1984). "La référence et le possible dans les activités scolaires". *In* : *Actes de l'Atelier International de Didactique de la Physique, La Londe Les Maures* (CNRS : Paris).

MILLAR R et DRIVER R (1987). "Beyond processes". *In* : *Studies in Science Education*, 14, 33-62.

ORLANDI E (1991). "Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale". *In* : *Aster*, 13, 111-132.

OSBORNE R et WITTROCK M (1983). "Learning Science : a generative process". *In* : *Science Education*, 67, pp 490-508.

POPE M.L et GILBERT J (1983). "Personal experience and the construction of knowledge in science". *In* : *Science Education*, 67, 193-203.

POSNER G,J et al (1982). "Accommodation of a scientific conception : towards a theory of conceptual change". *In* : *Science Education*, 66, 211-227.

POZO J,I (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal.* (Visor : Madrid).

POZO J,I (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje.* (Morata : Madrid).

RESNICK L,B (1983), "Mathematics and Science Learning : a new conception". *In* : *Science*, 220, 477-478.

SHUELL T,J (1987). "Cognitive psychology and conceptual change : implications for teaching science". *In* : *Science Education*, 71 (2), 239-250.

TIPPINS D, TOBIN K et HOOK (1992), "Ethical decisions at the heart of science teaching : reframing assessment dilemma from a constructivist perspective". *In* : *Proceedings of the Second International Conference on History and Philosophy of Science in Science Education* (Kingston, Canada), pp 513-526.

VIENNOT L (1992), "Raisonnement à plusieurs variables : tendances de la pensée commune". *In* : *Aster*, 14, 127-141.

WHEATLEY G.H (1991), "Constructivist perspectives on Science and Mathematics learning". *In* : *Science Education*, 75(1), 9-21.